



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**EVALUASI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI  
PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN PADANG  
(PERSERO) TBK AKIBAT ADANYA PENAMBAHAN  
PABRIK BARU INDARUNG VI**

Peihong Sinaga  
NRP. 2213106012

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknik Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - TE 141599**

***COORDINATION EVALUATION SYSTEM PROTECTION  
IN ELECTRICAL SYSTEMS SEMEN PADANG (PERSERO)  
TBK DUE TO THE EXISTENCE OF INDARUNG VI  
ADDITION OF NEW PLANT***

Peihong Sinaga  
NRP. 2213106012

Supervisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**EVALUASI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI  
PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN PADANG  
(PERSERO) TBK AKIBAT ADANYA PENAMBAHAN  
PABRIK BARU INDARUNG VI**

**TUGAS AKHIR**

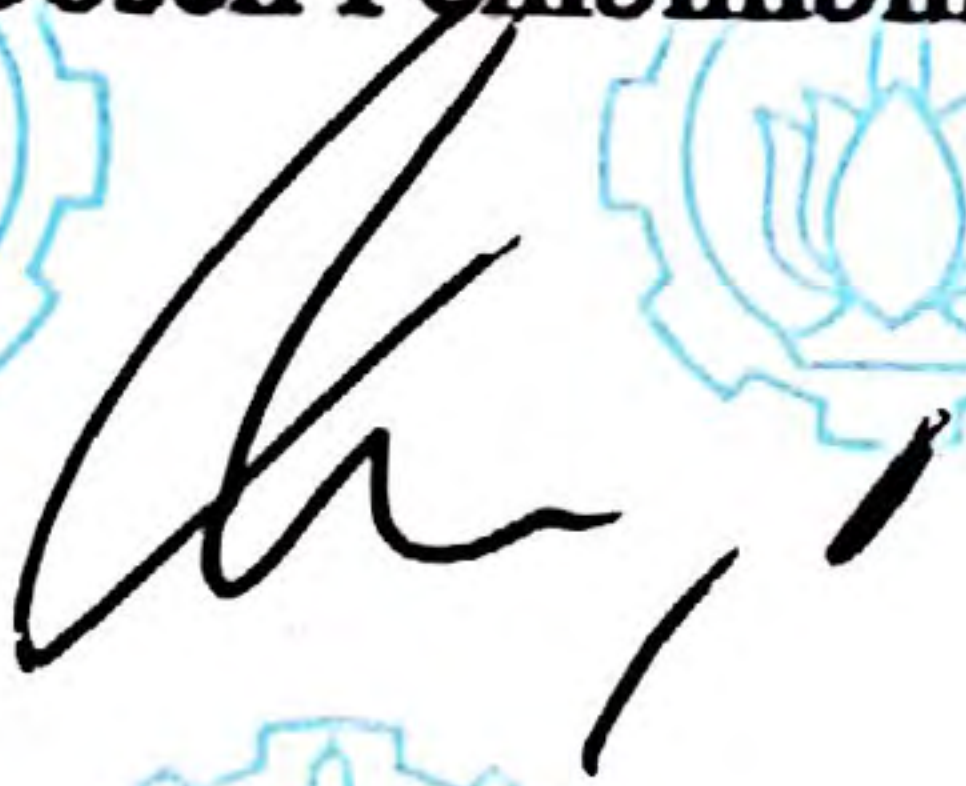
**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**

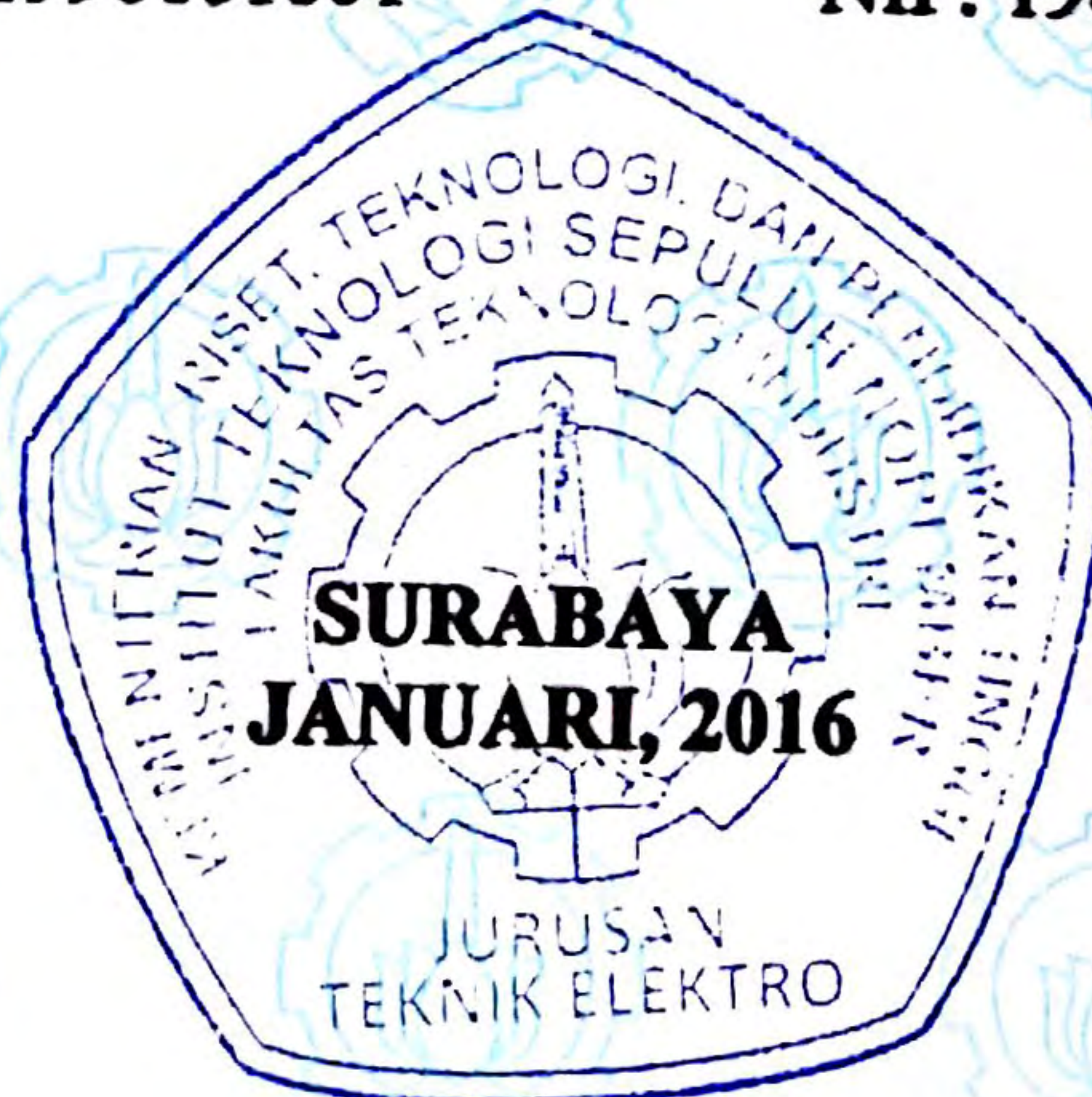


**Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.**  
**NIP. 196603181990101001**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Sjamsjul Anam, MT.**  
**NIP. 196307251990031002**





**EVALUASI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI  
PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN PADANG  
(PERSERO) TBK AKIBAT ADANYA PENAMBAHAN  
PABRIK BARU INDARUNG VI**

Nama : Peihong Sinaga  
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

**ABSTRAK**

PT. Semen Padang sebagai salah satu produsen semen terbesar di kawasan Indonesia bagian barat, seiring dengan perkembangan industri semen PT. Semen Padang melakukan penambahan pabrik baru Indarung VI untuk menunjang proses produksi. Dengan penambahan beban muncul permasalahan pada sistem kelistrikannya, yaitu sering terjadi kegagalan proteksi pada trafo utama yang ada di GI Semen Padang pada saat terjadi gangguan, sehingga kontinuitas daya ke beban terganggu dan mengakibatkan pemadaman yang lebih luas. Melalui tugas akhir ini dilaksanakan studi koordinasi proteksi pada PT. Semen Padang yang tepat dalam mendeteksi dan mengisolir gangguan sehingga tidak mengganggu sistem yang sedang berjalan dan mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan peralatan listrik. Dari hasil plot koordinasi kurva arus waktu kondisi *existing* setting koordinasi rele arus lebih fasa masih ada kesalahan koordinasi sehingga perlu dilakukan evaluasi ulang untuk mendapatkan hasil *resetting* yang bisa direkomendasikan sebagai *setting* rele pengamannya. Melalui hasil analisis dan perhitungan manual direkomendasikan penyetelan *pick up* rele arus lebih dan penyetelan *grading time*. Rele yang disetel ulang adalah rele arus lebih gangguan fasa (*overcurrent relay*).

**Kata Kunci :** Gangguan, koordinasi proteksi, rele arus lebih gangguan fasa.

**Evaluasi Koordinasi Sistem Proteksi Pada Sistem Kelistrikan PT.  
Semen Padang (Persero) tbk Akibat Adanya Penambahan Pabrik  
Baru Indarung VI**

Nama : Peihong Sinaga  
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

***ABSTRACT***

*PT . Semen Padang as one of the largest cement plant in the weastern of Indonesia , Along with development cement industry PT. Semen Padang planning to add new plants Indarung VI to support the production process. With the addition of load, problems occur in the electrical system, the failure protection often occur in GI Semen Padang during a fault, so the continuity of power is being interrupted. Through this final project carried out the correct studies on the coordination of electrical system protection in order to detecting and isolating the fault so the running system is not disturbed and prevent damage to electrical equipment. The results of time current curve in exisiting conditions can be seen that there are misscoordination more phase relay current so that need to re-evaluate to get resetting result which can be reommended as relay security setting. Through the analysis and manual calculation result, give the recommendation to reset pick up setting and grading time of overcurrent relays. Relays that need to be reset are phase fault overcurrent relays.*

***Keywords :*** *Fault, coordination of protection , overcurrent relay.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan bantuan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“Evaluasi Koordinasi Sistem Proteksi Pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Padang (Persero) tbk Akibat Adanya Penambahan Pabrik Baru Indarung VI”**.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan Program Studi Strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam proses pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini penulis telah sangat terbantu oleh beberapa pihak, antara lain:

1. Kedua orang tua saya, Tiopul Sinaga dan Sinur Paidi Butar-butar , Kakak-kakak saya Keluarga A.Winny Sinaga, A.Nathanael Sinaga, A.Krisna Sianturi, A.Izella Manullang, Meisya Butar-butar, Pandapotan Butar-butar, Paman saya dan beserta seluruh keluarga yang selalu mendukung, mendoakan dan memberikan bantuan baik berupa material dan non material.
2. Bapak Dr.Ir.Margo Pujiantara, MT dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam,MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan teknis dan semangat ketika penulis mengalami permasalahan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Ketua jurusan, Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Lintas Jalur Teknik Elektro ITS atas ilmu dan bimbingannya selama proses perkuliahan.
4. Keluarga besar Laboratorium Lipist dan Telekomunikasi Multimedia B304
5. Teman-teman Lintas Jalur Genap 2013, khususnya program studi Teknik Sistem Tenaga, dan teman-teman LJ dari Padang.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

# DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
TUGAS AKHIR.....	i
ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
 BAB 1 PENDAHULUAN .....	 1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Permasalahan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan dan Manfaat .....	2
1.5. Metodologi .....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
 BAB II SISTEM PROTEKSI.....	 7
2.1. Gangguan Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.2. Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik .....	8
2.2.1. Gangguan Beban Lebih (Overload).....	9
2.2.2. Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit).....	9
2.3. Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	12
2.3.1. Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah.....	12
2.3.2. Gangguan Satu Fasa Ke Tanah .....	14
2.3.3. Gangguan Antar Fasa.....	15
2.3.4. Gangguan Dua Fasa Ke Tanah .....	17
2.4. Rele Pengaman.....	19
2.5. Rele Arus Lebih .....	21
2.5.1. Rele Arus Lebih Waktu Terbatas ( <i>definite</i> ) .....	22
2.5.2. Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	22
2.5.3. Rele Arus Lebih Waktu Insatan (Moment).....	23
2.6. Penyetelan Rele Arus Lebih .....	24
2.6.1. Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	24
2.6.2. Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan .....	26
2.7. Koordinasi Rele Arus dan Waktu.....	27

BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT.SEMEN PADANG .....	29
3.1. Sistem Kelistrikan PT.Semen Padang .....	29
3.2. Sumber Energi listrik PT. Semen Padang .....	30
3.3. Sistem Operasi .....	30
3.4. Sistem Distribusi .....	31
3.5. Beban .....	33
 BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA .....	 35
4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa.....	35
4.2. Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman pada PT. Semen Padang .....	35
4.3. Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat .....	36
4.3.1. Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i> .....	37
4.3.2. Hubung Singkat Minimum .....	38
4.4. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa .....	39
4.4.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1 .....	39
4.4.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2.....	55
4.4.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3.....	66
4.4.4. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4.....	78
 BAB V PENUTUP.....	 91
5.1. Kesimpulan .....	91
5.2. Saran .....	91
DAFTAR PUSTAKA.....	93
LAMPIRAN .....	96



## TABLE OF CONTENT

ABSTRAK .....	I
ABSTRACT .....	III
PREFACE .....	V
CONTENT .....	VII
ILLUSTRATION .....	IX
TABLES .....	XI
 CHAPTER 1 PREFACE .....	 1
1.1 BACKGROUND .....	1
1.2 PROBLEM FORMULATION .....	2
1.3 SCOPE OF PROBLEM .....	2
1.4 PURPOSES .....	2
1.5 METHODOLOGY .....	2
1.6 SYSTEMATICS DISCUSSION .....	5
 CHAPTER 2 PROTECTION SYSTEM .....	 7
2.1 ELECTRICITY SYSTEM DISORDERS .....	7
2.2 CAUSES DISRUPTION OF ELECTRIC POWER SYSTEM .....	8
2.2.1 Overload .....	9
2.2.2 Short Circuit .....	9
2.3 SHORT CIRCUIT CURRENTS CALCULATION .....	12
2.3.1 Three Phase to Ground Fault .....	12
2.3.2 Single Phase to Ground Fault .....	14
2.3.3 Phase to Phase Fault .....	15
2.3.4 Two Phase to Ground Fault .....	17
2.4 PROTECTION RELAY .....	19
2.5 OVER CURRENT RELAY .....	21
2.5.1 Definite Over Current Relay .....	22
2.5.2 Invers Over Current Relay .....	22
2.5.3 Moment Over Current Relay .....	23
2.6 OVER CURRENT RELAY SETTING .....	24
2.6.1 Invers Over Current Relay Setting .....	24
2.6.1 Moment Over Current Relay Setting .....	26
2.7 OVER CURRENT RELAY AND TIME COORDINATION .....	27

<b>CHAPTER 3 ELECTRICAL SYSTEM OF PT. SEMEN PADANG ..</b>	<b>29</b>
3.1 ELECTRICAL SYSTEM PT. SEMEN PADANG.....	29
3.2 POWER SOURCE OF PT. SEMEN PADANG .....	30
3.3 OPERATION SYSTEM .....	30
3.4 DISTRIBUTION SYSTEM .....	31
3.4 LOAD.....	33
<b>CHAPTER 4 SIMLATION AND ANALYSIS DATA.....</b>	<b>35</b>
4.1 ELECTRICAL SYSTEM MODELING PT. SEMEN PADANG .....	35
4.2 COORDINATION SETTING TIPYCAL PT. SEMEN PADANG.....	35
4.3 SHORT CIRCIUT ANALYSIS .....	36
4.3.1 Maximum Short Circuit 4 cycle.....	37
4.3.2 Minimum Short Circuit 30 cycle .....	38
4.4 OVER CURRENT RELAY COORDINATION .....	39
4.4.1 Relay Coordinatin Typical 1 .....	39
4.4.2 Relay Coordinatin Typical 2 .....	55
4.4.3 Relay Coordinatin Typical 3 .....	66
4.4.4 Relay Coordinatin Typical 4 .....	78
<b>CHAPTER 5 CLOSING.....</b>	<b>91</b>
5.1 CONCLUSION .....	91
5.2 SUGGESTION .....	91
<b>REFERENCES .....</b>	<b>93</b>
<b>APPENDIX .....</b>	<b>97</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Flow Chart</i> Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir .....	4
Gambar 2. 1 Fasor Diagram Gangguan Simetri.....	9
Gambar 2. 2 (a) Komponen Urutan Positif; (b) Komponen Urutan Negatif; (c) Komponen Urutan Nol .....	10
Gambar 2. 3 Diagram Fasor Penjumlahan Komponen Simetri .....	10
Gambar 2. 4 Diagram Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah .....	13
Gambar 2. 5 Diagram Gangguan Satu Fasa Ke Tanah.....	14
Gambar 2. 6 Diagram Gangguan Antar Fasa .....	15
Gambar 2. 7 Diagram Gangguan Dua Fasa Ke Tanah .....	17
Gambar 2. 8 Skema Rele Pengaman .....	20
Gambar 2. 9 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	22
Gambar 2. 10 Karakteristik <i>Standard Inverse</i> , <i>Very Inverse</i> dan <i>Extremely Inverse</i> .....	23
Gambar 2. 11 Karakteristik Rele Arus Lebih <i>Instant</i> .....	23
Gambar 2. 12 Kombinasi Idmt Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan	24
Gambar 2. 13 Batas Ketelitian <i>Setting</i> Arus Berdasarkan Standart BS 142 .....	25
Gambar 2. 14 Rele Arus Lebih Pengamanan Trafo .....	27
Gambar 3. 1 Sistem Kelistrikan Eksisting GI PT. Semen Padang.....	29
Gambar 3. 2 Sistem Kelistrikan GI PT. Semen Padang Setelah Penambahan Pabrik Baru.....	30
Gambar 4. 1 Koordinasi Rele Tipikal 1.a.....	40
Gambar 4. 2 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1.a.....	40
Gambar 4. 3 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1.a.....	43
Gambar 4. 4 Koordinasi Rele Tipikal 1.b .....	44
Gambar 4. 5 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1.b .....	44
Gambar 4. 6 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1.b.....	48
Gambar 4. 7 Koordinasi Rele Tipikal 1.c.....	48
Gambar 4. 8 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1.c.....	49
Gambar 4. 9 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1.c.....	54
Gambar 4. 10 Koordinasi Rele Tipikal 2.a.....	55
Gambar 4. 11 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 2.a.....	56
Gambar 4. 12 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 2.a.....	60
Gambar 4. 13 Koordinasi Rele Tipikal 2.b .....	61
Gambar 4. 14 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 2.b .....	62

Gambar 4. 15 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 2.b.....	66
Gambar 4. 16 Koordinasi Rele Tipikal 3.a.....	67
Gambar 4. 17 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 3.a.....	68
Gambar 4. 18 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 3.a.....	72
Gambar 4. 19 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 3.b.....	73
Gambar 4. 20 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 3.b .....	74
Gambar 4. 21 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 3.b.....	78
Gambar 4. 22 Koordinasi Rele Tipikal 4.a.....	79
Gambar 4. 23 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 4.a.....	80
Gambar 4. 24 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 4.a.....	84
Gambar 4. 25 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 4.b.....	85
Gambar 4. 26 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 4.b .....	86
Gambar 4. 27 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 4.b.....	90



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ke Tanah .....	13
Tabel 2. 2 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah.....	15
Tabel 2. 3 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa .....	17
Tabel 2. 4 Koefisien Invers <i>Time Dial</i> .....	25
Tabel 3. 1 Data Generator .....	30
Tabel 3. 2 Data Trafo .....	31
Tabel 3. 3 Data Trafo 3 Belitan.....	33
Tabel 3. 4 Data Beban Motor Medium Voltage .....	34
Tabel 4. 1 Data Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i> .....	37
Tabel 4. 2 Data Hubung Singkat Minimum 30 <i>Cycle</i> .....	38





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

PT. Semen Padang (persero) Tbk merupakan salah satu anggota PT Semen Indonesia yang berlokasi di Padang, Sumatera Barat. Semen Padang saat ini memiliki pabrik dengan kapasitas produksi sebesar 6,9 juta ton per tahun. Untuk menunjang proses produksi PT.Semen Padang melakukan penambahan pabrik baru Indarung VI dengan beban 30 MW. Sebelumnya PT. Semen Padang telah memiliki pabrik dengan total beban 60 MW, yang telah terhubung dengan sistem *grid* PLN. PT. Semen Padang yang sekarang proses produksinya mulai penyediaan bahan baku hingga *packing plan* dimana material semen diolah sampai menjadi semen siap di pasarkan, sebelum nya dalam proses produksi ketika terjadi gangguan pada salah satu titik beban akan mengakibatkan CB pada GI PLN *trip*, sehingga menyebabkan terjadi dampak pemadaman yang cukup luas saat proses produksi. Sehubungan dengan peristiwa yang terjadi maupun adanya penambahan Plan dan beban yang akan di beroperasi, maka dalam segi sistem kelistrikan nya hal ini perlu dilakukan pengkajian dan evaluasi untuk setting dan koordinasi rele pengaman yang tepat yang dapat mendeteksi dan mengisolir gangguan dengan baik sehingga pabrik dapat beroperasi dengan maksimal dan handal ketika terjadi suatu gangguan [5]. Seiring dengan Peristiwa yang ada dan plan baru yang akan beroperasi, hingga saat ini belum dilakukan studi tentang koordinasi pengaman rele arus lebih.

Kontinuitas aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik sangat diperlukan agar *supply* daya ke beban tidak terganggu, pada saat kondisi normal maupun saat terjadi gangguan [1]. Dalam mengamankan sistem kelistrikan saat terjadi gangguan, diperlukan peralatan pengaman sistem tenaga listrik untuk menjaga kontinuitas dan kestabilan suatu sistem tenaga listrik [1]. Gangguan pada sistem tenaga listrik sangat bervariasi jenis dan besarnya. Rele pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena tindakan pengamanan yang tepat dapat mengisolir gangguan seminimal mungkin [8]. Rele pengaman beroperasi saat muncul arus gangguan dan menggerakkan pemutus tenaga sehingga aliran daya pada saluran tersebut terputus.

## **1.2. Permasalahan**

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah Sistem kelistrikan PT. Semen Padang dan koordinasi rele pengaman arus lebih *existing* apakah sudah tepat dan memenuhi standar.

## **1.3. Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis membatasi permasalahan yang dibahas adalah analisis aliran daya pada sistem kelistrikan PT. Semen Padang, kemudian melakukan analisis hubung singkat gangguan fasa sehingga dapat ditentukan setelan rele dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi ETAP 12.6.0

## **1.4. Tujuan dan Manfaat**

Tugas akhir ini memiliki tujuan mensimulasikan dan menganalisis sistem kelistrikan PT. Semen Padang untuk mengetahui setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih kondisi *existing*, kemudian dilakukan *resetting* dan koordinasi rele pengaman arus lebih yang tepat pada sistem kelistrikan PT. Semen Padang.

Hasil yang diharapkan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah dapat memberikan manfaat, yaitu menjadi referensi dan rekomendasi untuk melakukan perbaikan bagi PT. Semen Padang khususnya setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih dan juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya tentang koordinasi rele pengaman arus lebih.

## **1.5. Metodologi**

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### **1. Pengumpulan data dan studi literatur**

Hal yang dilakukan pertama kali adalah pengumpulan data dan studi literatur untuk menambah pemahaman mengenai permasalahan yang dihadapi. Data yang diperlukan adalah *rating* generator, trafo, kabel, motor, kapasitas busbar dan *single line diagram* PT. Semen Padang. Literatur yang digunakan berupa beberapa buku, jurna ilmiah, serta *user manual* peralatan.

### **2. Pemodelan dan simulasi**

Penulis melakukan pemodelan dengan menggunakan *software* simulasi ETAP 12.6.0 Dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan *single line diagram* pada *software* simulasi. Selanjutnya dilakukan



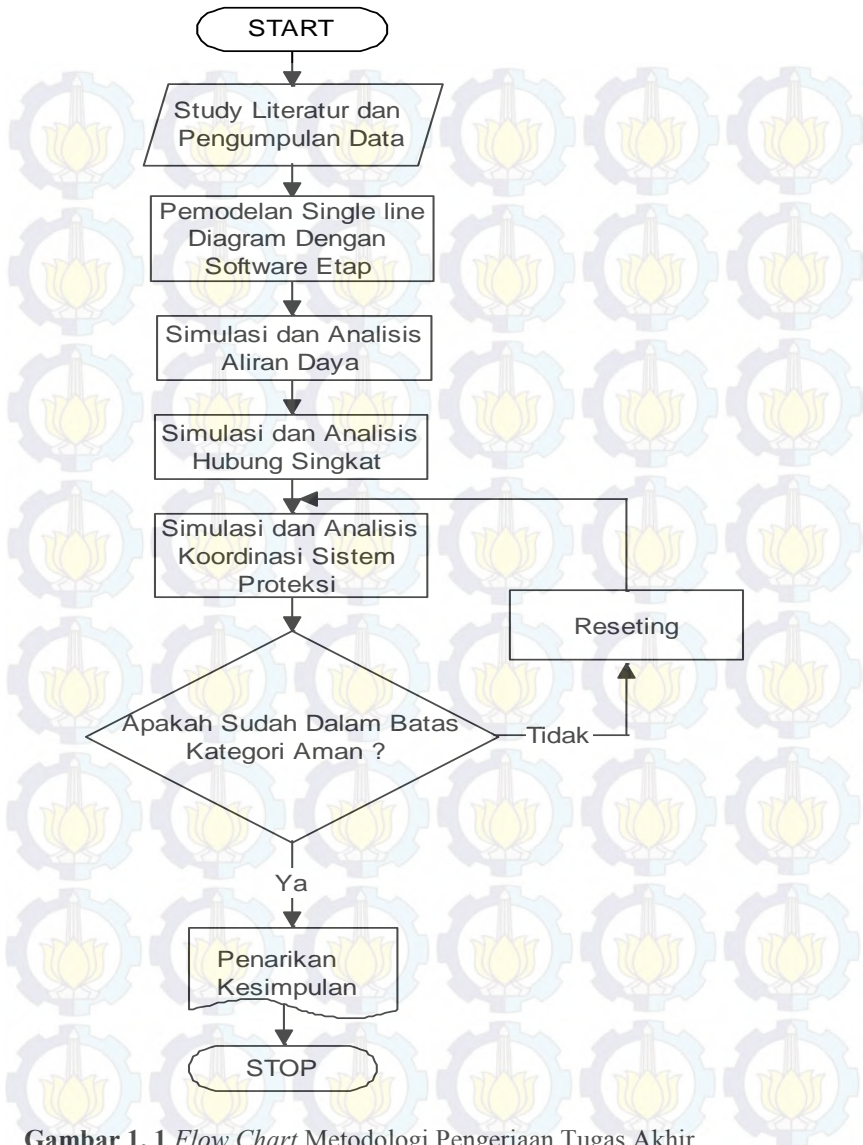
simulasi aliran daya dan hubung singkat. Tujuan dilakukan pemodelan dan simulasi ini agar dapat diketahui besarnya daya yang mengalir ke beban dan arus hubung singkat yang terjadi pada sistem kelistrikan PT. Semen Padang.

### 3. Analisis

Hasil dari simulasi aliran daya dan hubung singkat digunakan untuk menganalisis setelan dan koordinas rele-rele pengaman arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah yang terpasang pada sistem kelistrikan PT.Semen Padang. Analisis ini dilakukan dengan menunjukkan perhitungan *high set* dan *low set*, sehingga didapatkan nilai *time dial*, *time delay*, *settingg time over current pick-up*, *instantaneous pick-up*, dan plot *time current curve (TCC)*. Dari hasil analisis ini, akan diketahui apakah setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih yang terpasang sudah tepat atau masih perlu diperbaiki lagi sehingga dilakukan *resetting* rele dan koordinasi rele pengaman yang tepat.

### 4. Kesimpulan

Langkah akhir dari penyusunan tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan. Selain itu juga akan diberikan saran dan rekomendasi tentang penelitian yang telah dilakukan. Alur metodologi penyusunan tugas akhir ini dapat digambarkan dalam *flowchart* pada Gambar 1.1.



**Gambar 1. 1** *Flow Chart* Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir



### **1.6. Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

#### **BAB I: PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi pengerjaan tugas akhir, sistematika pembahasan dan relevansi dari penulis.

#### **BAB II : KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**

Pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

#### **BAB III: SISTEM KELISTRIKAN PT.SEMEN PADANG.**

Dalam bab ini dijelaskan metode pelaksanaan studi serta penerapannya dalam studi kasus pada sistem tenaga listrik PT.SEMEN PADANG, bagaimana konfigurasinya dan beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik PT.SEMEN PADANG.

#### **BAB IV: HASIL SIMULASI DAN ANALISIS**

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini akan disajikan analisis terhadap kinerja dan koordinasi rele arus lebih ketika terjadi gangguan, serta beberapa rekomendasi untuk memperbaiki setelan yang sudah ada sehingga menghasilkan koordinasi rele pengaman yang lebih baik.

#### **BAB V: PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.



## **BAB II**

### **SISTEM PROTEKSI**

Sistem proteksi merupakan komponen pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat adanya gangguan. Sistem tenaga listrik harus didesain agar rele proteksi dapat beroperasi untuk merasakan dan mengisolasi gangguan secepatnya. Masalah koordinasi proteksi pada suatu sistem kelistrikan telah menjadi masalah yang umum dan harus segera diatasi dengan tepat untuk menjaga keandalan dan juga menjaga kontinuitas pada suatu sistem kelistrikan. Masalah yang berhubungan dengan proteksi sistem tenaga listrik ini bermacam-macam dari gangguan hubung singkat, beban lebih hingga permasalahan pada sistem pentanahan. Oleh karena itu setting proteksi yang diterapkan haruslah dapat merasakan gangguan dan mengisolir gangguan secepat mungkin, sehingga dapat mencegah kerugian produksi yang besar akibat padamnya peralatan atau kerusakan peralatan yang tidak perlu terjadi yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau *overload*.

Pemilihan rele proteksi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut [1] : Proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal.

Zona proteksi diklasifikasikan sebagai primer atau *back up*. Rele proteksi primer adalah pertahanan pertama terhadap gangguan sistem dan beroperasi pertama untuk mengisolasi gangguan. Umumnya, rele kecepatan-tinggi (misal, waktu operasi *breaker* 1 *cycle* hingga 3 *cycle*). Jika gangguan tidak terisolasi setelah beberapa waktu *delay*, proteksi *backup* akan bekerja dengan melakukan *trip circuit breaker* utama atau dengan melakukan *trip circuit breaker* pada zona yang berdekatan.

#### **2.1. Gangguan Sistem Tenaga Listrik**

Berdasarkan referensi [4], gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik akan mengalir arus yang besar menuju ke titik gangguan. Arus gangguan tersebut memiliki nilai yang lebih besar dari rating arus maksimum yang di iijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan. Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).



Gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan dan arus yang tidak normal.
2. Pemasangan rele yang kurang baik.
3. Terjadinya kesalahan mekanis karena adanya proses penuaan pada peralatan.
4. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat konduktor putus, atau kabel cacat pada isolasi.
5. Beban lebih.

Sedangkan untuk gangguan pada sistem tenaga listrik yang berasal dari luar sistem antara lain :

1. Gangguan-gangguan yang bersifat mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, bintang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Untuk jenis gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu [2]:

1. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu untuk memperbaikinya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.
2. Gangguan yang bersifat temporer, dimana gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan seketika, baik hilang dengan sendirinya maupun karena kerja alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

## **2.2. Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik**

Referensi [5] menyebutkan bahwa dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan timbulnya arus lebih yang dapat terjadi diantaranya yaitu gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

### 2.2.1. Gangguan Beban Lebih (Overload)

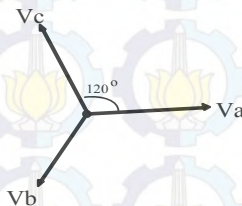
Timbulnya Gangguan ini terjadi karena adanya arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ( $I > I_n$ ). Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik yang di ijkinkan. Gangguan beban lebih bukan bersifat gangguan murni, namun Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus, maka dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

### 2.2.2. Gangguan Hubung Singkat (Short Circiut)

Berdasarkan pada referensi [6], gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri. Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat membukanya *circuit breaker*.

#### 2.2.2.1. Gangguan Simetri

Gangguan simetri adalah gangguan yang seimbang antar fasanya. Contoh dari gangguan ini yaitu gangguan tiga fasa. Pada saat terjadi gangguan, nilai pada setiap fasanya akan sama sehingga apabila dijumlahkan akan bernilai nol. Gambar 2.1 berikut adalah gambar fasor diagram dari gangguan simetri.

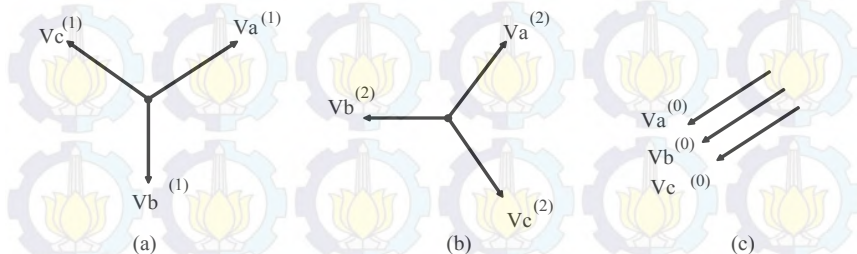


**Gambar 2. 1** Fasor Diagram Gangguan Simetri

#### 2.2.2.2. Gangguan Asimetri

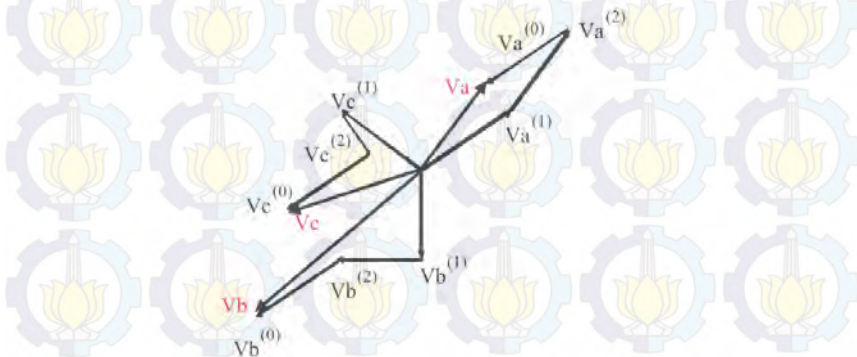
Gangguan asimetri disebut juga sebagai gangguan tidak seimbang. Dikatakan sebagai gangguan tidak seimbang karena apabila

terjadi gangguan, nilai tiap fasanya tidak sama. Artinya, yang memberikan kontribusi arus hanya dari salah satu atau dua fasanya. Contoh dari gangguan ini yaitu gangguan satu fasa ketanah, antar fasa dan dua fasa ketanah. Berdasarkan referensi [7], untuk analisa gangguan asimetri disederhanakan dengan menggunakan komponen simetri. Gambar 2.2 berikut adalah gambar dari komponen simetri.



**Gambar 2. 2** (a) Komponen Urutan Positif; (b) Komponen Urutan Negatif; (c) Komponen Urutan Nol

Perbedaan nilai antar fasa ini bisa dilihat dari besarnya magnitude ataupun dari sudut fasa. Sehingga untuk menyamakan setiap fasanya digunakanlah komponen simetri yaitu komponen urutan positif (1), komponen urutan negatif (2) dan komponen urutan nol (0). Nilai dari tegangan/arus hubung singkat adalah hasil penjumlahan dari ketiga urutan tersebut. Gambar 2.3 berikut adalah fasor penjumlahan dari komponen simetri.



**Gambar 2. 3** Diagram Fasor Penjumlahan Komponen Simetri



Dari Gambar 2.3 daidapatkan bahwa nilai setiap fasanya yaitu:

$$\begin{aligned} V_a &= V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \\ V_b &= V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)} \\ V_c &= V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Variabel  $V_b$  dan  $V_c$  dapat diganti dengan variabel  $V_a$  yang dikalikan dengan fungsi operator  $a$  dimana nilainya yaitu  $1/\_120^\circ$ . Sehingga dari Gambar 2.2 dapat dilihat hubungan antara  $V_a$ ,  $V_b$  dan  $V_c$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_b^{(0)} &= V_a^{(0)} & V_c^{(0)} &= V_a^{(0)} \\ V_b^{(1)} &= a^2 V_a^{(1)} & V_c^{(1)} &= a V_a^{(1)} \\ V_b^{(2)} &= a V_a^{(2)} & V_c^{(2)} &= a^2 V_a^{(2)} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Substitusi persamaan (2.2) ke (2.1), sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} V_a &= V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \\ V_b &= V_a^{(0)} + a^2 V_a^{(1)} + a V_a^{(2)} \\ V_c &= V_a^{(0)} + a V_a^{(1)} + a^2 V_a^{(2)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Atau dalam bentuk matriks yaitu:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Dimana nilai  $A$  yaitu:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Kemudian nilai  $A$  di invers untuk mempermudah perhitungan.

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Untuk mendapatkan nilai komponen simetri, maka sisi sebelah kiri dikalikan dengan  $A^{-1}$ .

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Perkalian dari matriks tersebut yaitu:

$$V_a^{(0)} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \quad (2.8)$$

$$V_a^{(1)} = \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (2.9)$$

$$V_a^{(2)} = \frac{1}{3} (V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (2.10)$$

Sama halnya dengan tegangan, persamaan untuk arus hubung singkat adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

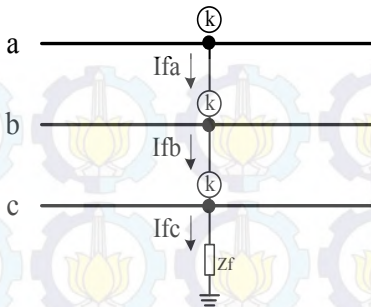
### 2.3. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat bergantung pada jenis gangguan hubung singkat yang terjadi. Terdapat beberapa jenis hubung singkat yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah, hubung singkat antar fasa, hubung singkat dua fasa ke tanah dan hubung singkat satu fasa ke tanah sesuai dengan referensi [8] :

#### 2.3.1. Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah

Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah merupakan gangguan simetri. Dikatakan sebagai gangguan yang simetri karena ketiga fasanya mengalami gangguan sehingga nilai fasanya semua sama. Gambar 2.4 adalah diagram gangguan dari hubung singkat tiga fasa ketanah.

Dikarenakan gangguan simetri tidak memiliki arus urutan negatif dan nol, maka besarnya arus hubung singkat tiga fasa ke tanah adalah tegangan hubung singkat dibagi dengan impedansi urutan positifnya atau secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:



**Gambar 2. 4** Diagram Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah

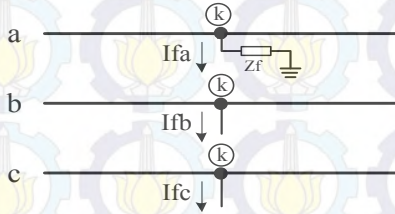
**Tabel 2. 1** Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ke Tanah

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
3 phasa langsung ( simetri )		$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$ $I_{sc} = \frac{V_f}{Z_1}$



### 2.3.2. Gangguan Satu Fasa Ke Tanah

Gangguan satu fasa ke tanah diakibatkan karena salah satu konduktor menyentuh tanah. Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol ( $Z_0$ ), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa ( $I_{sc0}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :



**Gambar 2. 5** Diagram Gangguan Satu Fasa Ke Tanah

Dari Gambar 2.5 tersebut, gangguan hubung singkat terjadi di fasa a. Sehingga didapatkan:

$$I_{fb} = 0 \quad I_{fc} = 0 \quad V_{ka} = Z_f I_{fa} \quad (2.13)$$

Untuk komponen simetrisnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dengan perkalian matriks didapatkan:

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{I_{fa}}{3} \quad (2.14)$$

Dengan substitusi  $I_{fa}^{(0)}$  ke  $I_{fa}^{(1)}$  dan  $I_{fa}^{(2)}$ , didapatkan  $I_{fa} = 3I_{fa}^{(0)}$ .

Sehingga didapatkan rumus tegangan di titik hubung singkat yaitu:

$$\begin{aligned} V_{ka}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{fa}^{(0)} \\ V_{ka}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{fa}^{(1)} \\ V_{ka}^{(2)} &= -Z_{kk}^{(2)} I_{fa}^{(2)} \end{aligned} \quad (2.15)$$

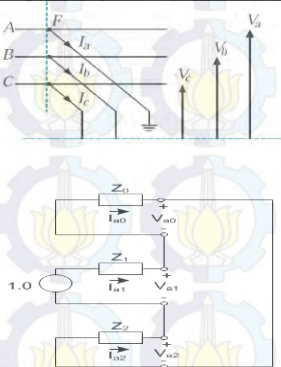
Dari persamaan (2.13) didapatkan  $V_{ka} = 3Z_f I_{fa}^{(0)}$  yang kemudian dimasukkan dalam penjumlahan dari (2.15)

$$V_{ka} = V_{ka}^{(0)} + V_{ka}^{(1)} + V_{ka}^{(2)} = V_f - (Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)})I_{fa}^{(0)} = 3Z_f I_{fa}^{(0)}$$

Sehingga besarnya arus hubung singkat (2.14) pada gangguan satu fasa ke tanah yaitu sebagai berikut:

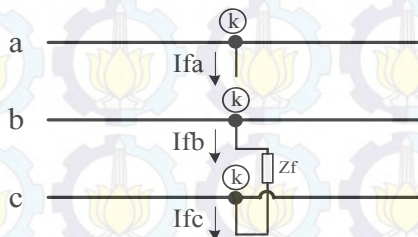
$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.16)$$

**Tabel 2. 2** Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
1 phasa ke tanah		$\begin{aligned} I_b &= 0 \\ I_c &= 0 \\ V_a &= 0 \\ I_{sc} &= \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \end{aligned}$

### 2.3.3. Gangguan Antar Fasa

Gangguan antar fasa terjadi dikarenakan hubung singkat diantara ke dua fasanya. Gambar 2.6 berikut merepresentasikan gangguan yang terjadi pada fasa b dan c.



**Gambar 2. 6** Diagram Gangguan Antar Fasa

Dari Gambar 2.6 tersebut, gangguan terjadi di fasa b dan fasa c. Sehingga didapatkan:

$$I_{fa} = 0 \quad I_{fb} = -I_{fc} \quad V_{kb} - V_{kc} = I_{fb}Z_f \quad (2.17)$$

Dikarenakan  $I_{fb} = -I_{fc}$  dan  $I_{fa} = 0$ , komponen simetri nya yaitu:

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fb} \\ -I_{fb} \end{bmatrix}$$

Dengan perkalian matriks didapatkan:

$$I_{fa}^{(0)} = 0 \quad (2.18)$$

$$I_{fa}^{(1)} = -I_{fa}^{(2)} \quad (2.19)$$

Persamaan  $V_{kb} - V_{kc} = Z_f I_{fb}$  dapat dijabarkan menjadi:

$$\begin{aligned} V_{kb} - V_{kc} &= (V_{kb}^{(1)} + V_{kb}^{(2)}) - (V_{kc}^{(1)} + V_{kc}^{(2)}) \\ &= (V_{kb}^{(1)} - V_{kc}^{(1)}) + (V_{kb}^{(2)} - V_{kc}^{(2)}) \\ &= (a^2 - a)V_{ka}^{(1)} + (a - a^2)V_{ka}^{(2)} \\ &= (a - a^2)(V_{ka}^{(1)} - V_{ka}^{(2)}) \\ I_{fb}Z_f &= (I_{fb}^{(1)} + I_{fb}^{(2)})Z_f = (a^2 I_{fa}^{(1)} + a I_{fa}^{(2)})Z_f \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.19), persamaan (2.17) akan menjadi:

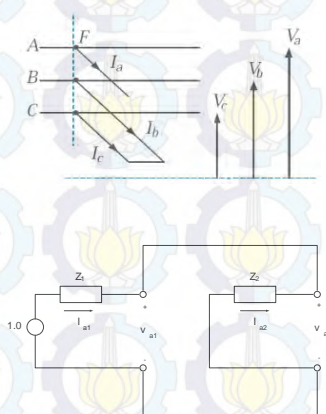
$$\begin{aligned} (a - a^2)(V_{ka}^{(1)} - V_{ka}^{(2)}) &= (a^2 - a)I_{fa}^{(1)}Z_f \\ V_{ka}^{(1)} - V_{ka}^{(2)} &= I_{fa}^{(1)}Z_f \end{aligned} \quad (2.20)$$

Dan besarnya arus hubung singkatnya yaitu:

$$I_{fa}^{(1)} = -I_{fa}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.21)$$

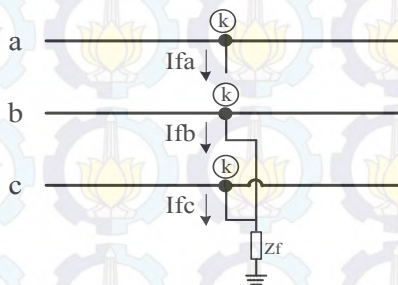


**Tabel 2. 3** Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
Antar fasa		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{sc} = \left  \pm j \frac{\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2} \right $

### 2.3.4. Gangguan Dua Fasa Ke Tanah

Gangguan dua fasa ke tanah terjadi karena terdapat dua konduktor fasa yang terhubung dengan tanah. Pada Gambar 2.7 merepresentasikan gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.



**Gambar 2. 7** Diagram Gangguan Dua Fasa Ke Tanah

Dari Gambar 2.7 tersebut, gangguan terjadi di fasa b dan fasa c. Sehingga didapatkan:

$$I_{fa} = 0 \quad V_{kb} - V_{kc} = (I_{fb} + I_{fc})Z_f \quad (2.22)$$

Karena  $I_{fa} = 0$ , maka arus urutan nol yaitu  $I_{fa}^{(0)} = \frac{1}{3} (I_{fb} + I_{fc})$  dan tegangan pada persamaan (2.22) menjadi:

$$V_{kb} = V_{kc} = 3Z_f I_{fa}^{(0)} \quad (2.23)$$

Substitusi  $V_{kb}$  ke  $V_{kc}$  ke dalam transformasi komponen simetri sehingga:

$$\begin{bmatrix} V_{ka}^{(0)} \\ V_{ka}^{(1)} \\ V_{ka}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ka} \\ V_{kb} \\ V_{kc} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Persamaan pada baris kedua dan ketiga yaitu:

$$V_{ka}^{(1)} = V_{ka}^{(2)} \quad (2.25)$$

Substitusi persamaan (2.23) ke persamaan baris pertama

$$3V_{ka}^{(0)} = V_{ka} + 2V_{kb} = (V_{ka}^{(0)} + V_{ka}^{(1)} + V_{ka}^{(2)}) + 2(3Z_f I_{fa}^{(0)})$$

Kumpulkan urutan nol kedalam sisi yang sama dan substitusi  $V_{ka}^{(2)}$  ke  $V_{ka}^{(1)}$ , sehingga diperoleh nilai  $V_{ka}^{(1)}$ :

$$V_{ka}^{(1)} = V_{ka}^{(0)} - 3Z_f I_{fa}^{(0)} \quad (2.26)$$

Substitusi persamaan (2.25) ke (2.26) dan diingatkan kembali bahwa  $I_{fa} = 0$ , sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} V_{ka}^{(1)} &= V_{ka}^{(2)} = V_{ka}^{(0)} - 3Z_f I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(0)} + I_{fa}^{(1)} + I_{fa}^{(2)} &= I_{fa} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Rumus hubung singkat untuk masing-masing urutan adalah sebagai berikut:

$$I_{fa}^{(1)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + \left[ \frac{Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} \right]} \quad (2.28)$$

$$I_{fa}^{(2)} = -I_{fa}^{(1)} \left[ \frac{Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} \right] \quad (2.29)$$

$$I_{fa}^{(0)} = -I_{fa}^{(1)} \left[ \frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} \right] \quad (2.30)$$

**Tabel 0.1** Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
2 fasa ke tanah		$I_a = 0$ $V_b = 0$ $V_c = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)}$

#### 2.4. Rele Pengaman

Dalam suatu sistem proteksi haruslah dapat mengatasi berbagai macam gangguan-gangguan yang memungkinkan terjadinya bahaya, oleh sebab itu dibutuhkan rele pengaman. Sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menghasilkan dan mengalirkan energi listrik ke konsumen. Oleh karena itu sistem tersebut haruslah dirancang sebaik mungkin agar



kontinuitas daya listrik tetap terjaga, handal, dan ekonomis. Dalam membangun suatu

Sistem tenaga listrik diperlukan biaya yang banyak karena sistem yang rumit dan membutuhkan peralatan yang bermacam-macam. Dengan lengkapnya peralatan yang digunakan diharapkan sistem pengaman berjalan dengan baik dan tepat. Apabila terjadi sebuah gangguan arus lebih, rele pengaman akan memerintahkan *circuit breaker* untuk bekerja. Gambar 2.8 berikut adalah skema dari kerja rele pengaman tersebut.



**Gambar 2. 8** Skema Rele Pengaman

Dalam pengoperasiannya, peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi beberapa syarat sesuai dengan referensi [2]:

a) Selektifitas

Selektifitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan *tripping* secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi tersebut. Dalam pengertian lain, suatu proteksi sistem tenaga harus bisa bekerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jenis gangguan yang harus diamankan.

b) Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu agar tetap bertahan pada karakteristik kerjanya. Stabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksi sehingga tidak terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang bukan merupakan besaran yang perlu dipertimbangkan.

c) Sensitifitas

Sensitifitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lain dimana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele disebut sensitif bila parameter operasi utamanya rendah. Artinya, semakin rendah besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif.

d) Kecepatan

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mengisolasi gangguan secepat dan sesegara mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya listrik dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem sehingga pada akhirnya dapat merusak sistem tenaga tersebut.

e) Keandalan

Kebutuhan perangkat sistem proteksi dengan tingkat keandalan yang tinggi merupakan salah satu faktor pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan jaringan sistem tenaga listrik. Dari berbagai pengalaman lapangan terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keandalan sistem proteksi jaringan tenaga listrik antara lain yaitu : perancangan, setelan rele, salah instalasi dan faktor kinerja.

## 2.5. Rele Arus Lebih

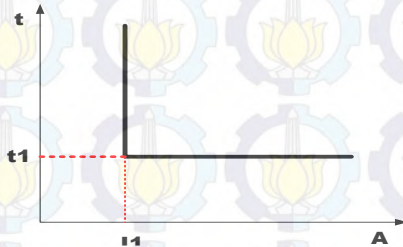
Salah satu jenis rele pengaman yang sering digunakan dalam sistem tenaga listrik sebagai peralatan adalah rele arus lebih. Pada referensi [1], rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Rele ini memiliki prinsip kerja yaitu ketika *current transformer* (CT) sebagai *sensing* dari rele ini dilewati arus yang melebihi nilai *setting*-nya maka rele ini akan segera bekerja. Dengan kata lain, rele akan beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

$I_f > I_p$	rele bekerja	( <i>trip</i> )
$I_f < I_p$	tidak bekerja	( <i>blok</i> )

Dimana  $I_p$  merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Dan  $I_f$  merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, trafo, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *invers*, Rele arus lebih waktu instan.

### 2.5.1. Rele Arus Lebih Waktu Terbatas (*definite*)

Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang *disetting*. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.9 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.



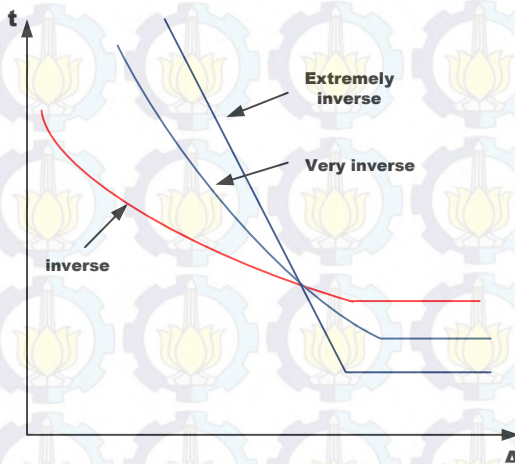
**Gambar 2. 9** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

### 2.5.2. Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih ini memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan [9]. Jadi, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele akan lebih lama. TCC (*time-current characteristic*) adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

Karakteristik invers ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* [7] seperti pada Gambar 2.10. Standar lain, misalnya standar IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*. Kurva invers ini sering dijumpai dengan *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite*.

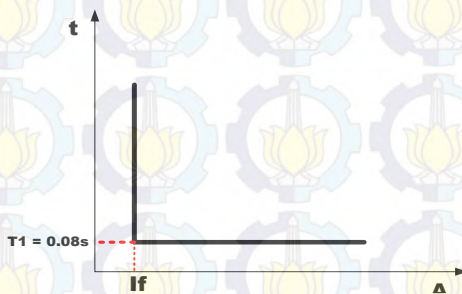




**Gambar 2. 10** Karakteristik *Standard Inverse*, *Very Inverse* dan *Extremely Inverse*

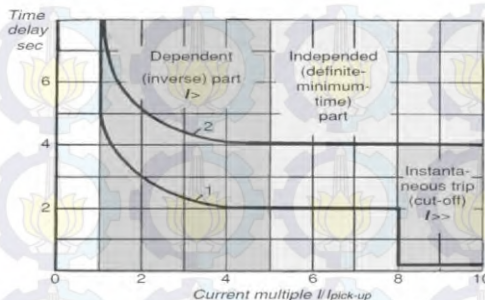
### 2.5.3. Rele Arus Lebih Waktu Insatan (Moment)

Prinsip kerja Rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0.1detik, pada umumnya kurang dari 0.08 detik, seperti terlihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2. 11** Karakteristik Rele Arus Lebih *Instant*

Pada setelan koordinasi pengaman di sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan setelan instan . Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms). Gambar 2.12 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan.



**Gambar 2. 12** Kombinasi Idmt Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan

## 2.6. Penyetelan Rele Arus Lebih

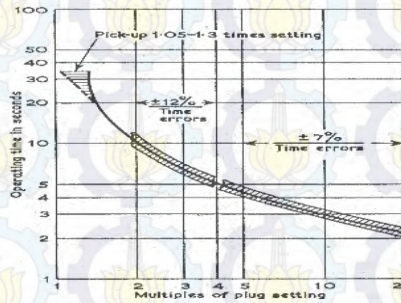
Rele arus lebih pada dasarnya memiliki fungsi sebagai pengaman gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal rele arus lebih ini dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih (*overload*). Fungsi dari rele arus lebih ini selain sebagai pengaman utama untuk melindungi bagian yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up*) pada bagian berikutnya. Hal ini apabila arus lebih dipakai pada sistem dsitribusi tegangan menengah. Namun pada saluran transmisi tegangan tinggi rele arus lebih berfungsi sebagi *back up*, dimana rele jarak sebagai pengaman utama.

### 2.6.1. Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers memiliki dua bagian penyetelan yaitu setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Untuk setelan *pickup*, batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada Rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{NCT} \quad (2.31)$$

$I_{set}$  adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart British BS-142 batas penyetelannya adalah  $1.05 I_{FLA} < I_{set} < 1.3 I_{FLA}$ . Dimana  $I_{FLA}$  adalah arus saat beban maksimum peralatan.



**Gambar 2. 13** Batas Ketelitian *Setting* Arus Berdasarkan Standart BS 142

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi Rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers Rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut sesuai dengan referensi [10]:

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{pickup}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.32)$$

Di mana :

$t$  = waktu operasi (detik)

$T_d$  = *time dial*

$I$  = nilai arus (Ampere)

$I_{set}$  = arus *pickup* (Ampere)

$k$  = koefisien invers 1 (Direpresentasikan Pada Tabel 2.4)

$\alpha$  = koefisien invers 2 (Direpresentasikan Pada Tabel 2.4)

$\beta$  = koefisien invers 3 (Direpresentasikan Pada Tabel 2.4)

**Tabel 2. 4** Koefisien Invers *Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	$\alpha$	$\beta$
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808



### 2.6.2. Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan  $I_{sc \min}$  yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Untuk mencari setting pada titik A maka dilakukan hubung singkat  $I_{sc \min}$  30 cycle 2 fasa L-L maka dapat di temukan *setting* nilai batas akhir *pickup*-nya seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.

Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min} \quad (2.33)$$

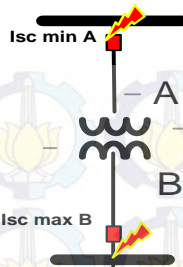
Sedangkan untuk mencari nilai batas awal maka digunakan  $I_{sc \max \text{ bus B}}$  dengan membawa dari *low voltage* (LV) ke *high voltage* (HV).

$$\frac{\text{low voltage (LV)}}{\text{high voltage (HV)}} \times I_{sc \max \text{ bus B}} \quad (2.34)$$

Untuk Pertimbangan khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada Gambar 2.14. Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \max \text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min, A} \quad (2.35)$$

Jika syarat ini terpenuhi maka tidak perlu dilakukan grading time melainkan dapat kembali lagi ke 0,1. Untuk mengatasi gangguan yang lebih besar pada bus B sehingga rele dapat kerja secepat mungkin. Nilai  $0,8 I_{sc \min}$  digunakan untuk mengestimasi adanya kesalahan kerja rele sehingga dapat berkerja seminimal mungkin.



**Gambar 2. 14** Rele Arus Lebih Pengamanan Trafo

Di mana  $I_{sc \text{ max B}}$  bus B merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan  $I_{sc \text{ min A}}$  adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

## 2.7. Koordinasi Rele Arus dan Waktu

Penyetelan rele terutama harus mempertimbangkan kecepatan dan selektivitasnya kerja dari setiap rele pada masing-masing daerah kerjanya. Untuk menentukan harus dihitung arus hubung singkat maksimum yaitu arus hubung singkat tiga fasa pada pembangkitan maksimum gangguan yang dihitung di daerah terdekat dengan Bus atau CB. Untuk waktu operasi dari rangkaian pengamanan, yaitu waktu yang diperlukan untuk *pick-up* sampai kontak CB terbuka.

Antara rele pengamanan utama dan rele pengamanan backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. *Time delay* ini sering dikenal sebagai setelan *setting* kelambatan waktu ( $\Delta t$ ) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0.2 – 0.35 detik [8].

Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 cycle)

*Overtravel* dari rele : 0.1s

Faktor keamanan : 0.12 - 0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2 - 0.4s.





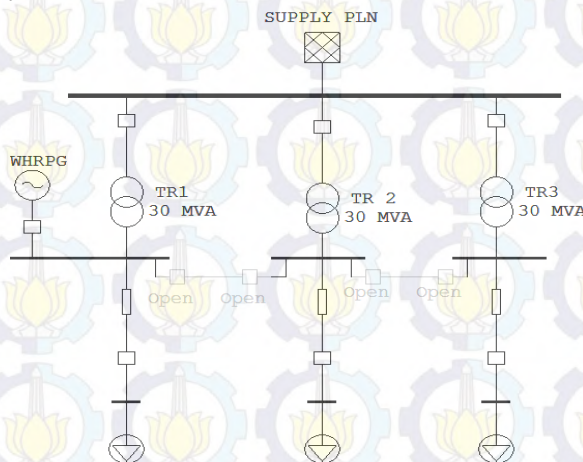
## BAB III

### SISTEM KELISTRIKAN PT.SEMEN PADANG

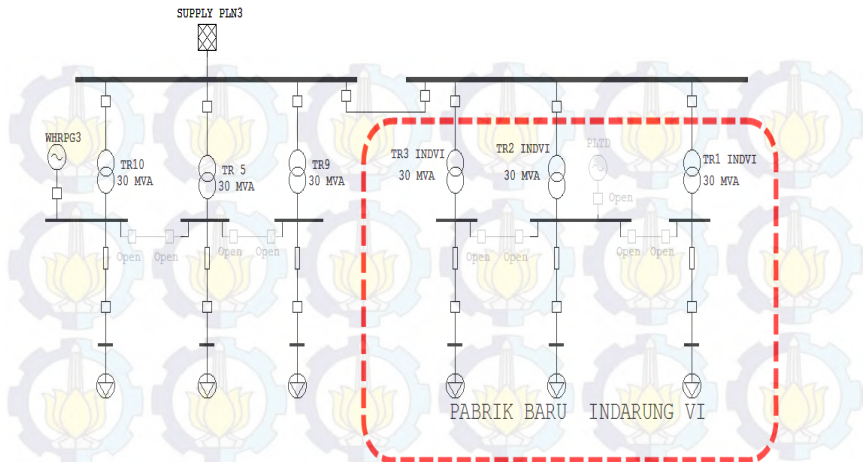
#### 3.1. Sistem Kelistrikan PT.Semen Padang

Sistem kelistrikan di GI PT. Semen Padang memiliki sistem kelistrikan yang sangat besar dan cukup kompleks, dimana sebahagian besar energi listrik tersebut dipergunakan untuk proses produksi, selain itu juga digunakan untuk penerangan dan kartor pusat. Sehingga dalam operasional nya, pabrik ini menggunakan energi listrik yang cukup besar. Total beban yang di butuhkan oleh GI PT. Semen Padang saat di operasikan penuh 94,98 MW, yang terdiri dari 1,2 MW digunakan untuk kegiatan non pabrik dan untuk keperluan operasional pabrik memerlukan 93,6 MW. Kebutuhan daya listri untuk sistem kelistrikan pabrik di suplai oleh PLN, dan sebagian kecil didapatkan dari pembangkit sendiri yang terdiri dari PLTU dan PLTD yang telah menerapkan sistem interkoneksi.

Namun PLTD sendiri hanya dipergunakan sebagai back up kiln pabrik baru Indarung VI untuk mengantisipasi jika terjadi gangguan listri yang mengakibatkan supply dari PLN terhenti sehingga kiln tetap dapat beroperasi dan kerusakan dapat di hindarkan. Adapun *Single Line Diagram* sistem kelistrikin GI PT. Semen Padang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3. 1** Sistem Kelistrikan Eksisting GI PT. Semen Padang



**Gambar 3. 2** Sistem Kelistrikan GI PT. Semen Padang Setelah Penambahan Pabrik Baru

### 3.2. Sumber Energi listrik PT. Semen Padang

Sistem kelistrikan PT. Semen Padang memiliki sumber energi listrik sebagai berikut:

- Sumber dari feeder PLN yang terhubung dengan tegangan 150 kV. Adapun MVA hubung singkat *feeder* PLN sebesar 5400 MVA<sub>sc</sub>
  - Sumber dari generator WHRPG 1 x 8,5 MW
- Dapat dilihat pada tabel data generator pada Tabel 3.1 dibawah ini.

**Tabel 3. 1** Data Generator

No	ID Generator	MVA	MW	kV	PF
1	WHRPG	10	8,5	6,3	90%
2	PLTD	10	8	6,3	90%

### 3.3. Sistem Operasi

Pada sistem kelistrikan PT. Semen Padang terdapat sistem operasi normal yaitu pabrik Indarung V terhubung dengan generator dan pabrik Indarung IV, V, dan VI terhubung dengan *feeder* PLN. Pada saat operasi sinkron seluruh beban Indarung menerima *supply* Daya dari generator dan *feeder* PLN.

### 3.4. Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah kesatuan peralatan yang bekerja menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke beban. Sistem pendistribusian tenaga listrik yang digunakan pada PT. Semen Padang adalah sistem distribusi radial. Tegangan listrik akan di distribusikan ke seluruh beban yang ada dengan di dukung oleh beberapa trafo yang ada untuk menyuplai setiap beban yang ada. Sistem distribusi tersebut menggunakan tegangan menengah 6.3 kV untuk melayani beban *Medium Voltage* dan trafo distribusi. Tegangan menengah ini akan diturunkan dengan trafo *step down* menjadi tegangan rendah 0.4 kV untuk melayani beban tegangan rendah . Data trafo dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3. 2** Data Trafo

No	TRAFO	Rating		
	ID TRAFO	MVA	Primer (kV)	Sekunder (kV)
1	TR 1 Indrng V	30	150	6,3
2	TR 2 Indrng V	30	150	6,3
3	TR 3 Indrng V	30	150	6,3
4	TR 1 Indrng VI	30	150	6,3
5	TR 2 Indrng VI	30	150	6,3
6	TR 3 Indrng VI	30	150	6,3
7	TR WHRPG	1,6	6,3	0,4
8	TR PPI	2	6,3	0,4
9	Tr Silo Ext	1,6	6,3	0,4
10	Tr Cment Silo	1,6	6,3	0,4
11	TR rol pres	1,25	6,3	0,7
12	Tr Trasport	2	6,3	0,4
13	TR RP 2	1,25	6,3	0,7
14	TR trans 2	2	6,3	0,4
15	TR RM 2D	1	6,3	0,4
16	TR CD & CT	1,6	6,3	0,4
17	TR CD 1	2	6,3	0,4
18	TR CD 2	2	6,3	0,4
19	TR CCB	1	6,3	0,4
20	TR EMS	1,6	6,3	0,4
21	TR KF	1,6	6,3	0,4
22	TR DT	1,6	6,3	0,4
23	TR COM ST	1,6	6,3	0,4



No	TRAFO	Rating		
	ID TRAFO	MVA	Primer (kV)	Sekunder (kV)
24	TR ACC	1,6	6,3	0,4
25	TR 3.2	2	6,3	0,4
25	TR 3.3	1,6	6,3	0,4
27	TR 3.4	2	6,3	0,4
28	TR 1	1,5	6,3	0,4
29	TR 2	1,5	6,3	0,4
30	TR 3	1,5	6,3	0,4
31	TR Crushr	1,6	6,3	0,4
32	TR Tbng	2	6,3	0,4
33	TR Subst	1,6	6,3	0,4
34	TR RM 1 D	1	6,3	0,4
35	TR RMT	1,6	6,3	0,4
36	TR MRT 2	2	6,3	0,4
37	TR MRH	1	6,3	0,4
38	TR L&ST&S	1	6,3	0,4
39	TR CC&CI	1	6,3	0,4
40	TR SS 158-1	2	6,3	0,4
41	TR Lngblt-1	2	6,3	0,4
42	TR RD-1	1,6	6,3	0,4
43	TR Cls -1	0,8	6,3	0,7
44	TR KF-1	2	6,3	0,4
45	TR DT-1	2	6,3	0,4
46	TR CL	2	6,3	0,4
47	TR CCR	2	6,3	0,4
48	TR B F	0,63	6,3	0,7
49	TR coal	1,6	6,3	0,4
50	TR CMC	0,5	6,3	0,7
51	TR CM	2	6,3	0,4
52	TR 538 Aditif	1,6	6,3	0,4
53	TR 628 Klinker	2	6,3	0,4
54	TR Up tmbng	10	6,3	0,4
55	TR Dwn tmbng	10	6,3	0,4
56	TR LSC VI	2	6,3	0,4
57	TR Mosher II	2	6,3	0,4
58	TR 218.1	2	6,3	0,4

**Tabel 3. 3** Data Trafo 3 Belitan

NO	TRAFO	Rating			
	ID TRAFO	MVA	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Tersier (kV)
1	TR 31	1,5/1,5/1,5	6,3	0,4	0,4
2	TR KDR	1,5/1,5/1,5	6,3	0,4	0,4
3	TR VFD1	1,725/1,725/1,725	6,3	6,3	6,3
4	TR VFD2	1,725/1,725/1,725	6,3	6,3	6,3
5	TR VFD Udgrd	5,3/5,3/5,3	6,3	0,7	0,7
6	TR VFD KD	1,5/1,5/1,5	6,3	0,4	0,4
7	TR VFD7	2,1/2,1/2,1	6,3	6,3	6,3
8	TR VFD8	2,1/2,1/2,1	6,3	6,3	6,3
9	TR VFD5	1,725/1,725/1,725	6,3	0,4	0,4
10	TR VFD6	1,725/1,725/1,725	6,3	0,4	0,4

### 3.5. Beban

Beban yang dimiliki GI PT. Semen Padang terdiri dari beban motor dan beban statis. Beberapa beban motor yang ada pada pabrik contohnya antara lain : *Raw Mill Fan* dan *Kiln Drive* . Sedangkan contoh dari beban statis yaitu lampu-lampu penerangan pada gedung, jalan dan kantor pusat .

Ada banyak motor yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasi di PT. Semen Padang. Umumnya motor yang digunakan adalah motor induksi dengan kapasitas besar yang menggunakan tegangan 6,3 kV. Sedangkan motor-motor berkapasitas kecil menggunakan tegangan 0,38 dan 0,7 kV. mengingat beban motor yang sangat banyak Tabel 3.4 berikut ditunjukkan data dari beberapa motor *medium voltage* yang ada di PT. Semen Padang.

**Tabel 3. 4** Data Beban Motor Medium Voltage

No.	ID Unit	Rating (KW)	kV	FLA
1.	5R1M03M1	2900	6,3	347
2.	5R2M03M1	2900	6,3	347
3.	5R1S29M1	2900	6,3	347
4.	5R2S29M1	2900	6,3	347
5.	5J1T01M1	2900	6,3	343
6.	5J1T03M1	2900	6,3	347
7.	5J1T11M1	1500	6,3	175
8.	5K1M03M1	750	6,3	89
9.	5K1S05M1	750	6,3	89
10.	5W1P31M1	1250	6,3	146
11.	5Z1M03M1	6140	6,3	739
12.	5Z2M03M1	6140	6,3	739
13.	5Z1S13M1	520	6,3	63
14.	5Z2S13M1	520	6,3	63
15.	5W1W03M1	600	6,3	970
16.	5W1W05M1	600	6,3	1450
17.	5Z1M21U1	900	6,3	900
18.	5Z2M21U1	900	6,3	900



## **BAB IV**

### **HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA**

#### **4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa**

Pemodelan sistem Kelistrikan PT. Semen Padang dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* pada *software* simulasi ETAP 12.6.0. Dalam membuat *single line diagram* dibutuhkan beberapa data peralatan, yaitu data kabel, trafo, generator, motor, *bus*, rele dan sistem pentanahan.

Setelah memodelkan sistem dengan membuat *single line diagram* sistem kelistrikan PT. Semen Padang dapat diketahui sistem kelistrikan *eksisting* dan sistem kelistrikan baru akibat penambahan dari pabrik baru. Setelah pemodelan selesai kemudian langkah selanjutnya adalah melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui kondisi sistem telah dalam kondisi normal (*steady state*). Sehingga dari analisis tersebut dapat diketahui tegangan pada bus, pembebanan trafo, pembebanan bus, rugi-rugi daya listrik, faktor daya pada tiap penyulang (*feeder*), dan aliran daya sistem *eksisting* pada *single line diagram* sistem tenaga listrik yang ada.

#### **4.2. Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman pada PT. Semen Padang**

Dalam *setting* rele pengaman untuk mempermudah *setting* koordinasi rele pengaman, maka dipilih beberapa tipikal dari masing-masing plant utama yang terdapat pada PT. Semen Padang untuk mewakili keseluruhan sistem kelistrikan yang ada dan tipikal ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam *setting* koordinasi plant lain nya. Berdasarkan pemilihan tipikal maka dipilih 4 tipikal dengan acuan, saluran terpanjang, serta beban terbesar, diantaranya yaitu :

- 1) Tipikal pada pabrik Baru Indarung VI adalah tipikal terpanjang untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa (50/51) pada PT. Semen Padang. Tipikal ini terdiri dari beberapa level tegangan, yaitu 150 kV, 20 kV, dan 6.3 kV. Rele yang dikoordinasikan Pada tipikal ini terdiri dari beberapa rele pengaman diantaranya yaitu, LVCB 318, rele trafo 218.1, rele to trafo 218, rele incoming 268, rele incom 20 kv tambg, rele 20 kv tambang, rele 6.3 kv tambang, rele incoming trafo 3.1, serta rele primer GI 3.1. Pemilihan tipikal ini

berdasarkan koordinasi rele terpanjang pada beban baru dan belum pernah dilakukan *setting* koordinasinya .

- 2) Koordinasi rele arus lebih fasa (50/51) tipikal pabrik Indarung IV untuk selanjutnya dijadikan sebagai tipikal 2. Pada tipikal 2 terdapat beberapa rele arus lebih gangguan fasa (50/51) yang perlu dikoordinasikan, diantaranya yaitu rele 19, rele 448, rele 468 rawcoal7, rele incom trafo 3.2, serta rele primer GI 3.2. Pemilihan tipikal ini mewakili tipikal beban terbesar pada plant pabrik Indarung IV, belum pernah dilakukan *setting* koordinasinya, dan merupakan plant yang mengakibatkan terjadinya kegagalan pada pada trafo utama yang menyuplai nya .
- 3) Tipikal pabrik selanjutnya disebut dengan tipikal 3. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele arus lebih gangguan fasa (50/51) yang akan dikoordinasikan, yaitu rele kiln drive, rele incom 731, rele 731 ccr, rele incom c20.2, serta rele primer GI 2.1. Pemilihan tipikal ini mewakili beban motor terbesar pada beban pabrik baru indarung VI.
- 4) Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa (50/51) selanjutnya disebut dengan tipikal 4. Tipikal ini melewati beberapa rele yang akan dikoordinasikan, yaitu rele rm id fan, rele incom 2-1, rele Id fan-1, rele incom trafo1-1, serta rele primer GI 3.1. Pemilihan tipikal ini mewakili beban motor yang harus benar-benar terhindar dari kegagalan pengaman dan suplai daya listrik pada beban pabrik baru indarung VI.

#### **4.3. Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat**

Setelah dilakukan analisis load flow pada sistem kelistrikan PT. Semen Padang, maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan analisis hubung singkat (*short circuit*) dengan menggunakan bantuan *software* ETAP 12.6.0. Analisis ini digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih. Terdapat 2 paramter yang digunakan dalam menghitung arus hubung singkat, yaitu arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada saat 4 *cylce* dan hubung singkat minimum adalah hubung singkat antar fasa ( 2 fasa ) pada saat 30 *cycle*. Pada analisis kali ini dilakukan pada *bus-bus* tipikal yang telah dipilih sebelumnya.

#### 4.3.1. Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle

Hubung singkat maksimum terjadi pada saat semua generator yang terdapat pada PT. Semen Padang bekerja pada keadaan normal. Hubung singkat maksimum 4 cycle digunakan untuk *setting* rele dengan *setting* kelambatan waktu 0.08-0.5s. Hubung singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi.

Pada simulasi gangguan hubung singkat maksimum dilakukan pada setiap bus dalam tipikal yang telah dipilih. Hasil simulasi hubung singkat maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

**Tabel 4. 1** Data Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle

no	Bus	Tegangan (kV)	Isc.max 4 cylce (kA)
1	Bus 73	0,4	19.17
2	Bus 74	6.3	4.43
3	Bus 65	6.3	4.45
4	Bus 66	6.3	4.45
5	Bus 63	6.3	4.98
6	SS 268 Tambang	6.3	4.98
7	Bus 48	20	2.08
8	Bus 47	20	2.1
9	Bus 46	6.3	15.69
10	Gardu 3	6.3	24.89
11	Bus Utama GLSP	150	22.08
12	Bus 7-1	6.3	22.62
13	Bus 8-1	6.3	22.62
14	Bus Gardu 1-1	6.3	28.6
15	Bus 221	6.3	27.33
16	Bus Kiln III C/LC 2.1	6.3	27.33
17	Bus Gardu 5	6.3	28.07



#### 4.3.2. Hubung Singkat Minimum

Hubung Singkat minimum terjadi pada saat semua generator yang terdapat pada PT. Semen Padang bekerja pada keadaan normal. Hubung singkat minimum 30 *cylcle* ini akan digunakan sebagai batasan arus *pickup (setting)* rele arus lebih dengan waktu kerja instan. Sehingga dengan demikian diharapkan apabila terjadi gangguan hubung singkat pada arus gangguan minimum, rele tersebut dapat bekerja secara instan atau sesuai dengan *setting time delay* yang telah ditentukan.

Pada simulasi gangguan hubung singkat minimum dilakukan pada setiap bus dalam tipikal yang telah dipilih sebelum nya. Hasil simulasi hubung singkat minimum dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4. 2** Data Hubung Singkat Minimum 30 *Cycle*

no	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 <i>cylce</i> (kA)
1	Bus73	0,4	14.46
2	Bus74	6.3	2.45
3	Bus65	6.3	2.45
4	Bus66	6.3	2.45
5	Bus63	6.3	2.64
6	SS 268 Pit Limit Tambang	6.3	2.64
7	Bus48	20	1.35
8	Bus47	20	1.37
9	Bus46	6.3	11.83
10	Gardu 3	6.3	18.5
11	Bus Utama GI.SP	150	18.18
12	Bus7-1	6.3	14.65
13	Bus8-1	6.3	14.65
14	Bus Gardu 1-1	6.3	18.5
15	Bus 221	6.3	18.07
16	Bus Kiln III C/LC 2.1	6.3	18.07
17	Gardu 5	6.3	18.5

#### 4.4. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

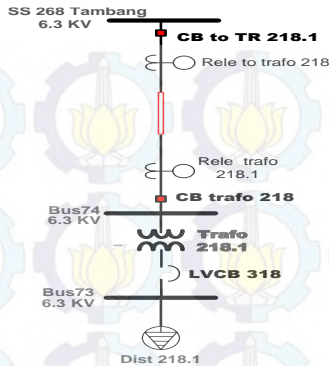
Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah pemilihan pada peralatan pengaman yang memiliki tujuan untuk mengisolasi suatu sistem pada saat terjadi rele gangguan arus lebih fasa saja. Gangguan yang mungkin dapat terjadi dapat berupa gangguan beban lebih (*over load*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Sehingga perancangan koordinasi proteksi yang baik dan tepat sangat diperlukan untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas daya listrik dan dengan demikian pula akan menjamin keberlangsungan kontinuitas daya listrik pada proses di suatu industri.

Pada koordinasi rele arus lebih dilakukan *setting* arus dan waktu pada rele arus lebih (50/51). Dari hasil koordinasi tidak diharapkan adanya beberapa peralatan pengaman yang bekerja bersamaan. Dari hasil koordinasi tidak diharapkan adanya beberapa peralatan pengaman yang bekerja bersamaan. Pada perhitungan *setting* rele arus lebih ini akan dihiutng nilai *low set*, *higt set*, dan *time dial*. Sedangkan untuk *time delay* nya dipilih *gradding time* 0.2s.

Setelah mendapatkan perhitungan nilai-nilai pada parameter-parameter yang telah ditentukan untuk *setting* rele arus lebih, maka langkah selanjutnya adalah plot *time current curve* pada *star-protective device coordination* yang terdapat pada *software* simulasi ETAP 12.6.0 Sehingga dengan demikian dapat lihat dan diketahui *setting* koordinasi yang tepat. Koordinasi rele fasa ini juga harus memperhitungkan rele yang berada diatasnya atau dibawahnya. Pada koordinasi rele pengaman harus memperhatikan arus *starting* (*lock rotor current*) motor dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo.

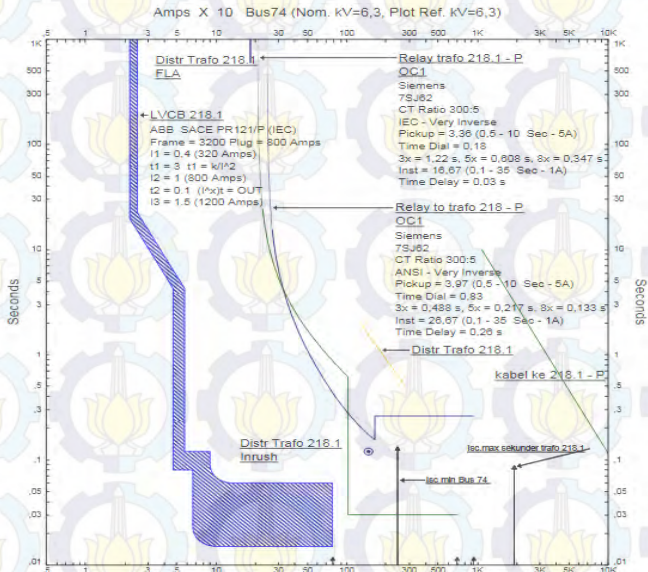
##### 4.4.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Untuk mempermudah analisis dan pembacaan kurva, tipikal koordinasi 1 dibagi menjadi tiga bagian yaitu diantaranya tipikal 1a, tipikal 1b, dan tipikal 1c. Gambar 4.1 dibawah ini adalah gambar tipikal 1a yang terdiri dari 1 buah rele *low voltage circuit breaker* dan 2 buah rele *high voltage circuit breaker*. Pada LVCB tidak menggunakan rele, dengan demikian di *setting* pada LVCB nya secara langsung. Sedangkan pada HVCB dilakukan penyetingan pada rele nya masing-masing. Rele yang dikoordinasikan pada Gambar 4.1 terdiri 3 buah rele, diantaranya yaitu LVCB 318, rele trafo 218.1, dan rele to trafo 218 .



**Gambar 4. 1** Koordinasi Rele Tipikal 1.a

Pada koordinasi tipikal 1.a terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih harus perlu disempurnakan lagi, hal ini dapat dilihat pada kurva arus waktu pada Gambar 4.2 yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.



**Gambar 4. 2** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 1.a



Berikut ini keterangan dari hasil plotting Gambar 4.2

1. Apabila terjadi hubung singkat minimu 2 fasa pada bus 73 maka rele trafo 218.1 akan bekerja terlebih dahulu pada 0.03 s. Hal tersebut dikarenakan setting waktu tunda yang di set terlalu kecil, semestinya rele trafo 218 disamakan setingnya dngan rele to trafo 218.1, krna sama berada dalam bus dan penyulang yang sama.
2. Apabila terjadi inrus current pada trafo 218.1 maka rele trafo 218.1 dan rele to trafo 218.1 akan selalu trip karena setingnya berada dibawah inrush curent dari trafo.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele yang ada masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele pengaman arus lebih gangguan fasa adalah sebagai berikut :

#### **✓ LVCB 318**

<i>Manufacturer</i>	: ABB
<i>Model</i>	: SACE PR121/P (IEC)
<i>FLA</i> sekunder trafo 218.1	: 2887 A
Isc min Bus 73	: 14.46 kA (0.4 kV)
Isc max Bus 73	: 19.17 kA (0.4 kV)
<i>Sensor</i>	: 3200
<i>Rating plug</i>	: 1600

#### **Long Time Pick Up**

$$1.1 \times FLA \text{ sekunder trafo 218.1} < I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus 73}}$$

$$1.1 \times 2887 < I_{set} < 0.8 \times 14460$$

$$3175.7 < I_{set} < 11568$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 3200 \text{ A}$$

$$LT \text{ Pick Up} = \frac{I_{set}}{\text{Rating Plug}} = \frac{3200}{1600} = 2$$

#### **Long Time Band**

$$\text{Dipilih LT Band} = 2$$

#### **Short Time Pick Up**

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus 73}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 14460$$

$$I_{set} \leq 11568$$

Dipilih Iset = 3200 A

$$ST\ Pick\ Up = \frac{I_{set}}{Rating\ Plug} = \frac{3200}{1600} = 2$$

### Short Time Band

Dipilih ST Band (time delay) = 0.1s

### **☑ Rele trafo 218.1 = Rele trafo 218**

Manufacturer	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Curve Type	: <i>Very Inverse</i>
FLA primer trafo 218.1	: 183.3 A
CT ratio	: 300 / 5
Isc min Bus 74	: 2.45 kA (6.3 kV)
Isc max Bus 74	: 4.43 kA (6.3 kV)
Isc.max sekunder trafo 218.1	: 19.17 kA (0.4 kV)
Konversi ke HV	: $\frac{0.4}{6.3} \times 19.17 = 1.22\text{ kA}$

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA\ Prim.\ trafo\ 218.1 \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc\ min\ Bus\ 74}$$

$$1.05 \times 183.3 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 2450$$

$$192.46 \leq I_{set} \leq 1960$$

$$\frac{192.46}{300} I_n \leq Tap \leq \frac{1960}{300} I_n$$

$$0.64 I_n \leq Tap \leq 6.53 I_n$$

Dipilih Tap = 3.5 In (*pickup range* 0.5 - 10 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual Iset = 1050 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{1}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{1}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{sc\ Max\ Bus\ 74}}{I_{tap \times CT\ primary}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.3 \times \left[ \left( \frac{4430}{3,5 \times 300} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.24 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.24 \text{ s}$ , dipilih  $T_d = 0.9 \text{ s}$  (Range 0.05 - 3.2, dengan step 0.01)

### Instantaneous Pickup

$I_{sc \text{ max } 4 \text{ cycle trafo } 218.1(\text{HV})} \leq I \gg \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus } 74}$

$$1220 \leq I \gg \leq 0.8 \times 2450$$

$$1220 \leq I \gg \leq 1960$$

$$\frac{1220}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{1960}{300} I_n$$

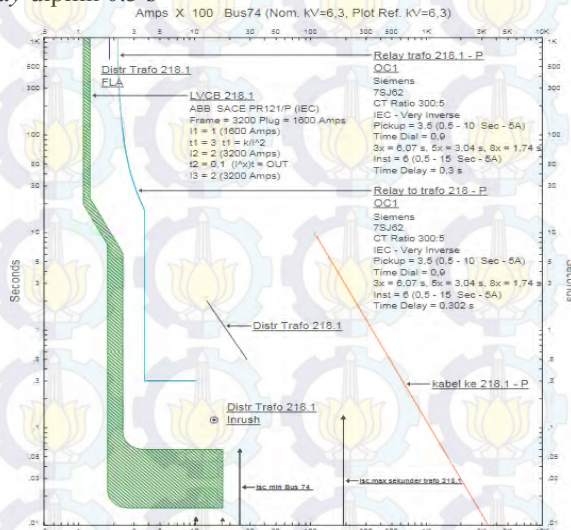
$$4.06 I_n \leq \text{Tap} \leq 6.53 I_n$$

Dipilih Tap = 6  $I_n$  (range dipilih 0.5 - 15 dengan step 0.01)

$I_{set} = 1800 \text{ A}$

### Time Delay

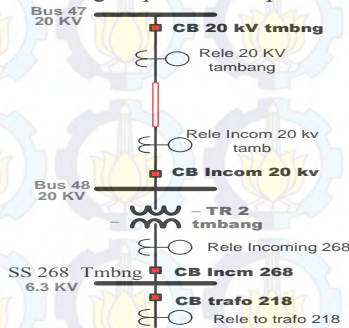
Time delay dipilih 0.3 s



**Gambar 4. 3** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 1.a

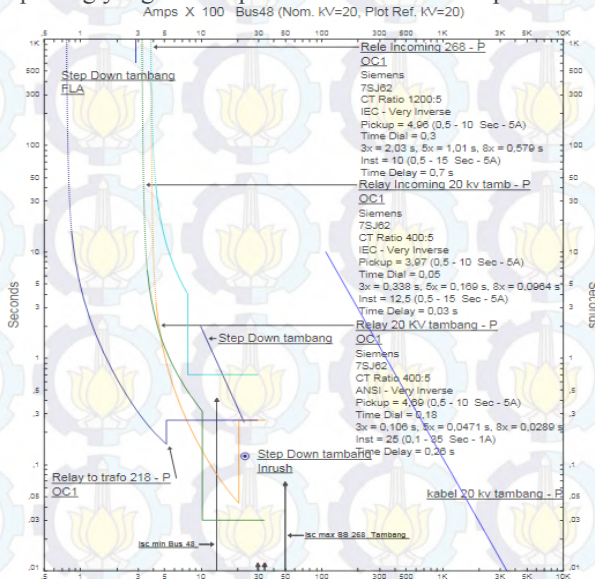


Pada tipikal 1.b seluruhnya terdiri *high voltage circuit breaker*. Rele yang akan dikoordinasikan adalah rele incoming 268, rele inkom 20 kv tambg , rele 20 kv tambang. Tipikal 1.b dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4. 4** Koordinasi Rele Tipikal 1.b

Pada koordinasi rele tipikal 1.b masih perlu disempurnakan. Hal itu dapat di lihat dengan melihat kemungkinan arus gangguan yang terjadi dari hasil plotting yang berada pada kurva arus waktu pada Gambar 4.5.



**Gambar 4. 5** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 1.b

Berikut ini merupakan keterangan dari hasil plotting kondisi eksisting:

1. Apabila terjadi *short circuit* minimum pada bus SS 268 maka rele yang pertamakli bekerja yaitu rele 20 kv tambang sehingga hal ini akan memungkinkan ketika terjadi gangguan pada sala satu penyulang maka rele 20 kv tambang akan bekerja terlebih dahulu sehingga akan terjadi pemanadaman yang lnh luas. Hal tersebut terjadi dikarenakan rele incoming 268 memiliki time delay 0.7s dan seting kurva invers yang terlalu tinggi .
2. Apabila terjadi *inrush current TR stepdown tambang* maka rele incom 20 kv tambang akan bekerja , sehingga beban yang berada pada bus ss 268 tidak akan mendapat suplai daya listrik , hal tersebut terjadi karena seting lowset dan hightset dari pada rele tersebut terlalu kecil.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

#### **☑ Rele Incoming 268**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ62
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA sknder TR 2 tmbng	: 916.4 A
<i>CT ratio</i>	: 1200 / 5
Isc max SS 268 Tambang	: 4.98 (6.3 kV)
Isc min SS 268 Tambang	: 2.64 kA (6.3 kV)

#### **Time Overcurrent Pickup**

$$1.05 \times \text{FLA sknder TR 2 tmbng} \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times \text{Isc min SS 268 Tambang}$$

$$1.05 \times 916.4 \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times 2640$$

$$962.22 \leq \text{Iset} \leq 2112$$

$$\frac{962.22}{1200} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{2112}{1200} \text{ In}$$

$$0.8 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1.76 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1 In ( *pickup range* 0.1 - 4 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual Iset = 1200 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ Max SS 268 Tambang}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^1 - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{0.5 \times \left[ \left( \frac{4980}{1 \times 1200} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.12 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.12 \text{ s}$ , dipilih  $T_d = \text{s}$  (Range 0.05 – 3.2, dengan step 0.01)

### **Instantaneous Pickup**

$$I \geq 0.8 \times I_{sc} \text{ min SS 268 Tambang}$$

$$I \geq 0.8 \times 2640$$

$$I \geq 2112$$

$$\text{Tap} \leq \frac{2112}{1200} I_n$$

$$\text{Tap} \leq 1.76 I_n$$

Dipilih Tap = 1.75  $I_n$  (range 0.5 - 15 dengan step 0.01)

$$I_{set} = 2100 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.5 s

### **☑ Rele Incom 20 kv tamb dan Rele 20 KV tambang**

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ62

Curve Type : Very Inverse

FLA primer TR 2 tmbng : 288.7 A

CT ratio : 400 / 5

Isc min Bus 48 : 1.35 kA (20 kV)

Isc max Bus 48 : 2.08 kA (20 kV)

Isc.max sknder TR 2 tmbng : 4.98 kA (6.3 kV)

Konversi ke HV :  $\frac{6.3}{20} \times 4.98 = 1.57 \text{ kA}$



### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA prim TR2 tmbng} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc min Bus 48}$$

$$1,05 \times 288,7 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 1350$$

$$303,1 \leq \text{Iset} \leq 1080$$

$$\frac{303,1}{400} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{1080}{400} \text{ In}$$

$$0,75 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 4,7 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 4 In (*pickup range* 0.5 – 10 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual Iset = 1200 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Bus 74}}{\text{Tap} \times \text{CT primary}}\right)^1 - 1\right]}{13,5}$$

$$T_d = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{2080}{1,2 \times 400}\right)^1 - 1\right]}{13,5}$$

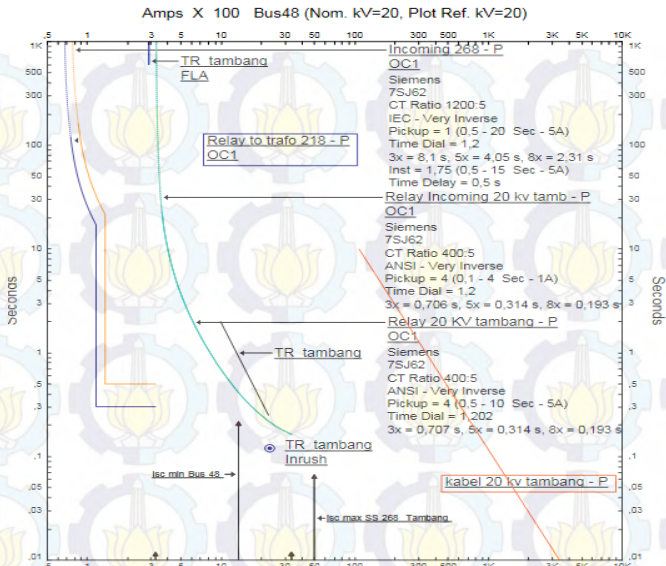
$$T_d = 0,12 \text{ s}$$

$T_d \geq 0,12 \text{ s}$ , dipilih  $T_d = 0,12 \text{ s}$  (*Range* 0.05 - 3.2, dengan *step* 0.01)

### **Instantaneous Pickup**

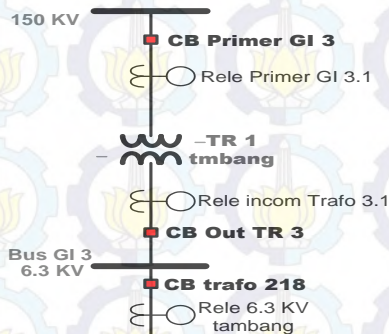
*Disable*

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.6.



**Gambar 4. 6** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 1.b

Pada tipikal 1.c terdiri dari 3 buah rele yang akan dikoordinasikan yaitu adalah rele 6.3 kv tambang, rele incoming trafo 3.1, serta rele primer GI 3.1. Tipikal 1.c dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4. 7** Koordinasi Rele Tipikal 1.c

[illegible]

1. Apabila terjadi *short circuit* pada primer trafo step up tambang maka



Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

### **☑ Rele 6.3 KV tambang**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ62
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA primer TR1 tambang	: 916.4 A
<i>CT ratio</i>	: 2000 / 5
Isc min Bus 46	: 11.83 kA (6.3 kV)
Isc max Bus 46	: 15.69 kA (6.3 kV)
Isc.max sekunder TR1 tambang	: 2.1 kA ( 20 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1.05 \times \text{FLA Prim TR1 tambang} \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times \text{Isc min Bus 46}$$

$$1.05 \times 916.4 \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times 11830$$

$$962.22 \leq \text{Iset} \leq 9464$$

$$\frac{962.22}{2000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{1282.96}{2000} \text{ In}$$

$$0.48 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 4.73 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 2.71 In ( *pickup range* 0.5 - 10 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual Iset = 5420 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0. s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{\text{Isc Max Bus 46}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.9 \times \left[ \left( \frac{15690}{2.71 \times 2000} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.21$$

$T_d \geq 0.21 \text{ s}$  , dipilih  $T_d = 0.26 \text{ s}$  (*Range* 0.05 - 3.2, dengan *step* 0.01)

### **Instantaneous Pickup**

1.6 x FLA Prim TR1 tambang  $\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus 46}$

$$1.6 \times 916.4 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 11830$$

$$1466.24 \leq I_{set} \leq 9464$$

$$\frac{1466.24}{2000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{9464}{2000} I_n$$

$$0.73 I_n \leq \text{Tap} \leq 4.73 I_n$$

Dipilih Tap = 9.4 In (*range* dipilih 0.5 - 10 dengan *step* 0.01)

### **Time Delay**

*Time delay* dipilih 0.7 s

### **☑ Rele incoming Trafo 3.1**

*Manufacturer*

: SIEMENS

*Model*

: 7SJ61

*Curve Type*

: *Very Inverse Time*

FLA sknder TR 3.1

: 2749 A

*CT ratio*

: 3000 / 5

Isc max Bus GI 3

: 24.89 (6.3 kV)

Isc min Bus GI 3

: 18.5 (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

1,05 x FLA sknder TR 3.1  $\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus GI 3}$

$$1,05 \times 2749 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 18500$$

$$2886.45 \leq I_{set} \leq 14800$$

$$\frac{2886.45}{3000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{14800}{3000} I_n$$

$$0.96 I_n \leq \text{Tap} \leq 4.93 I_n$$

Dipilih Tap = 2.3 In (*pickup range* 0.5 - 20 dengan *step* 0.05)

Nilai Aktual Iset = 6900 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$t \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ Max Bus GI 3}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^1 - 1 \right]$$

$$T_d = \frac{13.5}{0.5 \times \left[ \left( \frac{24890}{2.3 \times 3000} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$T_d = 0.27 \text{ s (1.1 = 0.24)}$$

$T_d \geq 0.27 \text{ s}$ , dipilih  $T_d = \text{s (Range 0.5 - 15, dengan step 0.25)}$

### **Instantaneous Pickup**

$$I \gg \leq I_{sc} \text{ min Bus GI 3}$$

$$I \gg \leq 0.8 \times 18500$$

$$I \gg \leq 14800$$

$$\text{Tap} \leq \frac{14800}{3000} I_n$$

$$\text{Tap} \leq 4.93 I_n$$

Dipilih Tap = 4.9  $I_n$  (range 0.5 - 15 dengan step 0.05)

$I_{set} = 14700 \text{ A}$

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.9 s

### **☑ Rele Primer GI 3.1**

Manufacturer

: SIEMENS

Model

: 7SJ61

Curve Type

: Very Inverse Time

FLA primer TR 3.1

: 115.5 A

CT ratio

: 300 / 5

$I_{sc} \text{ min Bus Utm GI.SP}$

: 18.18 kA (6.3 kV)

$I_{sc} \text{ max Bus Utm GI.SP}$

: 22.08 kA (6.3 kV)

$I_{sc} \text{ max sekunder TR 3.1}$

: 24.89 kA (0.4 kV)

Konversi ke HV

:  $\frac{6.3}{150} \times 24.89 = 1.04 \text{ kA}$



### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA Prim. TR } 3.1 \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus Utm GI.SP}}$$

$$1,05 \times 115.5 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 18180$$

$$121.27 \leq I_{set} \leq 14544$$

$$\frac{121.27}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{14544}{300} \text{ In}$$

$$0.4 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 48.48 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 2.2 In (*pickup range* 0.5 - 10 dengan *step* 0.05)

Nilai Aktual Iset = 660 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^\alpha - 1\right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^\alpha - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ Max Bus Utm GI.SP}}{\text{tap} \times CT_{primary}}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times \left[\left(\frac{22080}{2.2 \times 300}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = 1.35 \text{ s}$$

$T_d \geq 1.35 \text{ s}$ , dipilih  $T_d = 0.46 \text{ s}$  (*Range* 0.05 - 3.2, dengan *step* 0.01)

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{sc \text{ max TR } 3.1 \text{ (HV)}} \leq I_{\gg} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus Utm GI.SP}}$$

$$1040 \leq I_{\gg} \leq 0.8 \times 18180$$

$$1040 \leq I_{\gg} \leq 14544$$

$$\frac{1040}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{14544}{300} \text{ In}$$

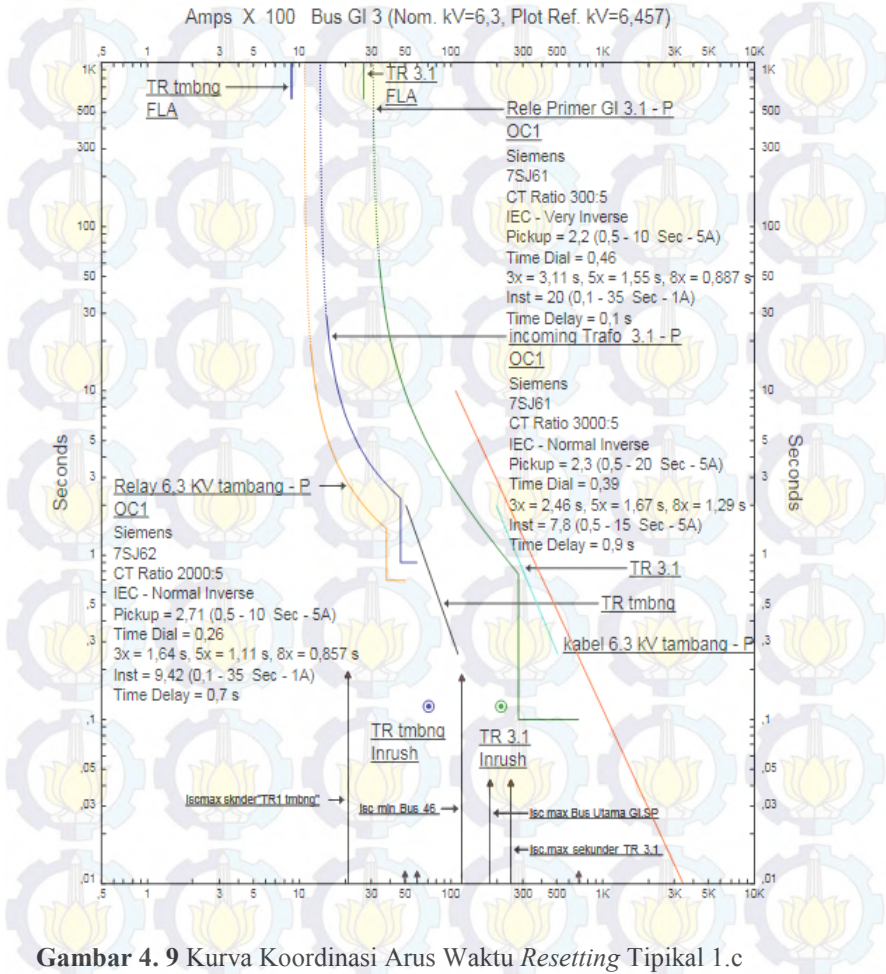
$$3.46 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 48.48 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 20 In (*range* dipilih 0.1 - 35 dengan *step* 0.01)

Iset = 6000 A

### Time Delay

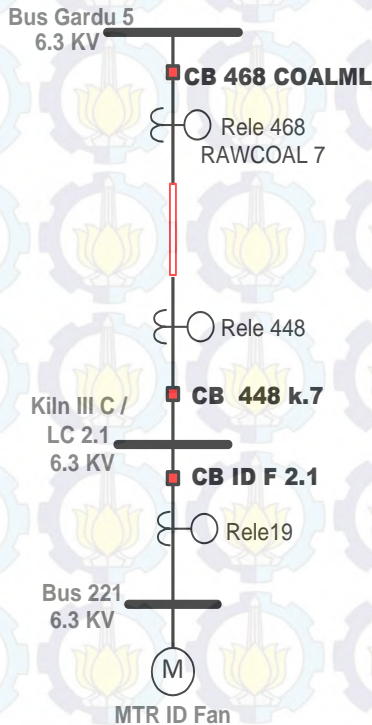
Time delay dipilih 0.1 s



**Gambar 4. 9** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 1.c

#### 4.4.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2

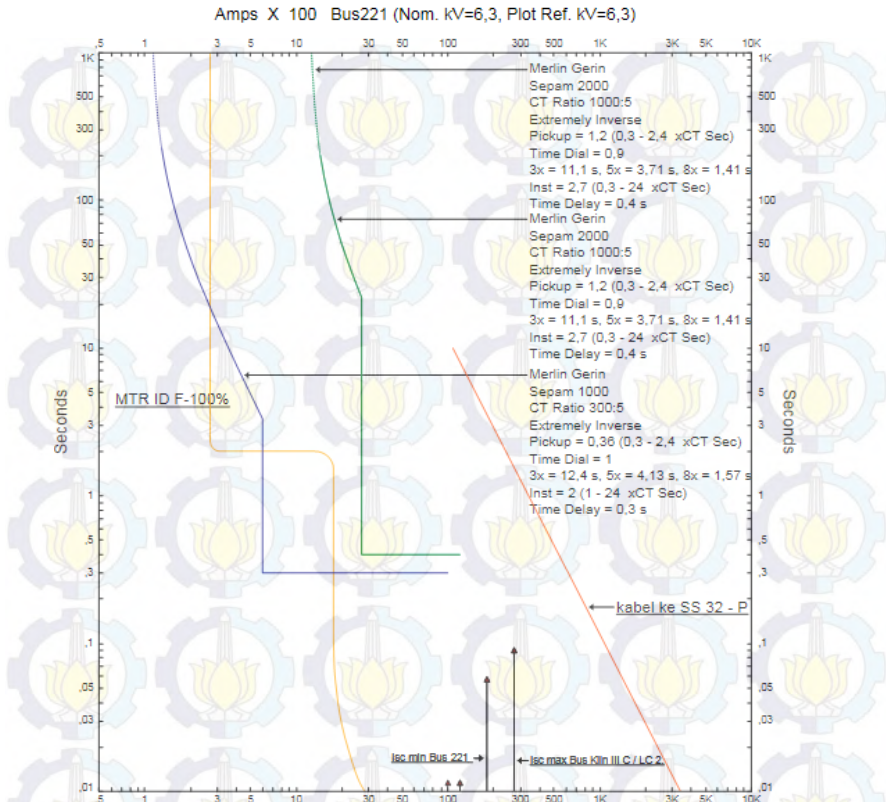
Pada tipikal koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 2 terdapat 3 rele yang akan dikoordinasikan yang terdiri dari rele 19, rele 448, dan rele 468 rawcoal7. Tipikal 2.a dapat dilihat pada Gambar 4.10



**Gambar 4. 10** Koordinasi Rele Tipikal 2.a

Pada koordinasi rele tipikal 2.a masih perlu disempurnakan. Hal itu dapat kita lihat dengan membaca kurva arus waktu pada Gambar 4.11.





**Gambar 4. 11** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 2.a

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar hasil plotting:

1. *Setting* kurva rele19 menyentuh kurva *starting* Motor ID FAN, jika motor tersebut start maka besar kemungkinan rele19 akan bekerja sehingga mengakibatkan motor motor ID FAN gagal *starting*.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang lebih tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

### **Rele 19**

*Manufacturer*

: Merlin Gerin

*Model*

: Sepam 1000

*Curve Type*

: *Very Inverse Time*

FLA MTR ID Fan

: 264 A

*CT ratio*

: 300 / 5

Isc max Bus 221

: 27.33 kA (6.3 kV)

Isc min Bus 221

: 18.07 kA (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1.05 \times \text{FLA MTR ID Fan} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA MTR ID Fan}$$

$$1.05 \times 264 \leq I_{set} \leq 1.4 \times 264$$

$$277.2 \leq I_{set} \leq 369.6$$

$$\frac{277.2}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{369.6}{300} I_n$$

$$0.92 I_n \leq \text{Tap} \leq 1.23 I_n$$

Dipilih Tap = 0.95  $I_n$  (*pickup range* 0.3 - 2.4 dengan *step* 0.05)

Nilai Aktual  $I_{set}$  = 285 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t$ ) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]} \times \frac{1}{\beta}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{sc \text{ Max Bus 221}}}{I_{tap \times CT \text{ primary}}}\right)^1 - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{13.5}{0.1 \times 1.5 \left[\left(\frac{27330}{0.95 \times 300}\right)^1 - 1\right]}$$

$$T_d = 1.05$$

$T_d \geq 1.05$ , dipilih  $T_d = 1.1$  (*Range*  $T_d$  0.1 – 12.5, dengan *step* 0.1)

### **Instantaneous Pickup**

$$7 \times \text{FLA MTR ID Fan} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus 221}}$$

$$7 \times 264 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 18070$$

$$1848 \leq I_{set} \leq 14456$$

$$\frac{1848}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{14456}{300} I_n$$

$$6.16 I_n \leq \text{Tap} \leq 48.18 I_n$$

Dipilih Tap = 14 In (*range* 1 - 24 dengan *step* 0.1)

$I_{set} = 4200 \text{ A}$

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.1 s

### **☑ Rele 448 = Rele 468 RAWCOAL7**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 2000

Curve Type : *standart inverse*

FLA Bus Kln IIIC/LC2.1 : 970.1 A

CT ratio : 1000 / 5

Isc max Bus Kiln III C / LC 2.1 : 27.3 (6.3 kV)

Isc min Bus Kiln III C / LC 2.1 : 18.07 (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1.05 \times \text{FLA Bus Kln IIIC/LC2.1} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA Bus Kln IIIC/LC2.1}$$

$$1.05 \times 970.1 \leq I_{set} \leq 1.4 \times 970.1$$

$$1018.6 \leq I_{set} \leq 1358.1$$

$$\frac{1018.6}{1000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{1358.1}{1000} I_n$$

$$1.02 I_n \leq \text{Tap} \leq 1.36 I_n$$

Dipilih Tap = 1.3 In (*pickup range* 0.3 – 2.4 dengan *step* 1)

Nilai Aktual Iset = 1300 A



### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^\alpha - 1\right]} \times \frac{1}{\beta}$$
$$T_d = \frac{t \times 2.97 \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^\alpha - 1\right]}{K}$$
$$T_d = \frac{t \times 2.97 \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Bus Kiln III C / LC 2.1}}{\text{tap} \times CT_{primary}}\right)^{0.02} - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{0.3 \times 2.97 \left[\left(\frac{27300}{1.3 \times 1000}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$T_d = 0.43$$

$T_d \geq 0.43$ , dipilih  $T_d = 0.5$  (Range  $T_d$  0.1 – 12.5, dengan step 0.1)

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus Kiln III C / LC 2.1}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 18070$$

$$I_{set} \leq 14456$$

$$\text{Tap} \leq \frac{14456}{1000} \text{ In}$$

$$\text{Tap} \leq 14.45 \text{ In}$$

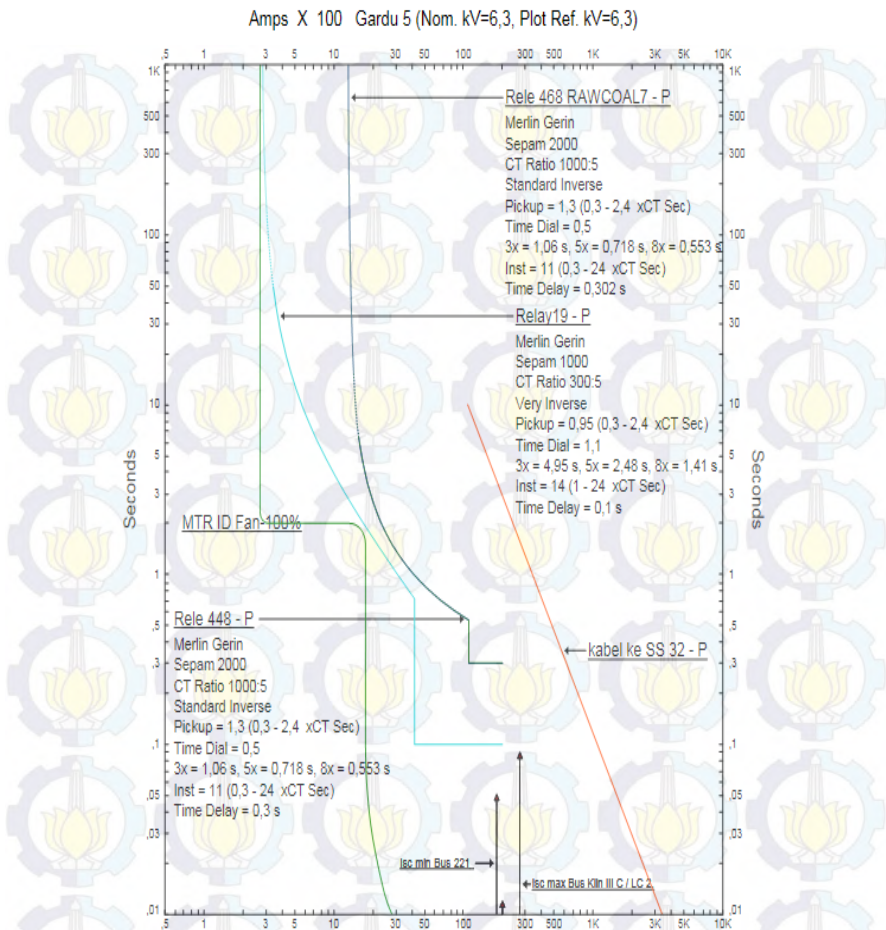
Dipilih Tap = 11 In (range 0.3 - 24 dengan step 1.0)

$$I_{set} = 11000 \text{ A}$$

### **Time Delay**

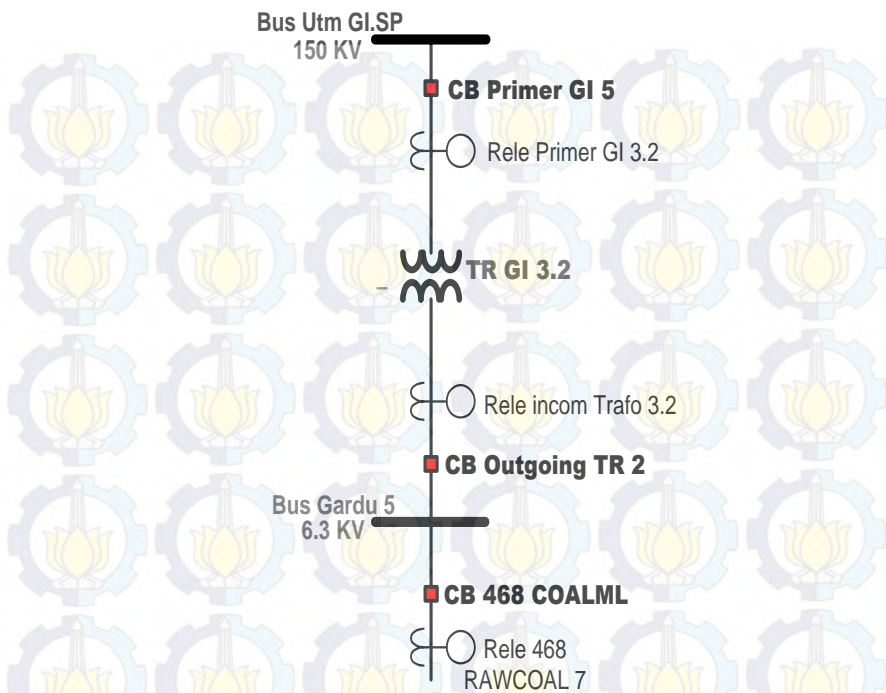
Time delay dipilih 0.3 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.12.



**Gambar 4. 12** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 2.a

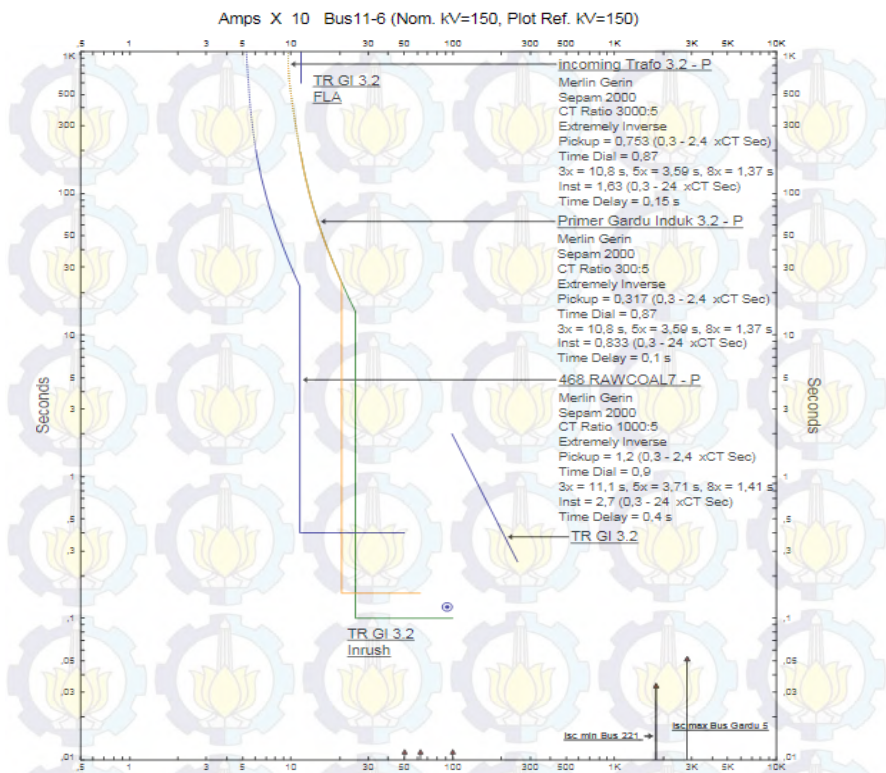
Pada tipikal 2.b terdiri dari 3 rele yang akan dikoordinasikan yaitu rele 468 rawcoal7, rele incom trafo 3.2, serta rele primer GI 3.2. rele Tipikal 2.b dapat dilihat pada Gambar 4.13.



**Gambar 4. 13** Koordinasi Rele Tipikal 2.b

Pada koordinasi rele tipikal 2.b masih perlu disempurnakan. Hal itu di tandai dengan hasil plotting kurva arus waktu eksisting tipikal 2.b pada Gambar 4.14.





**Gambar 4. 14** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 2.b

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar hasil plotting:

1. Apabila terjadi *short circuit* minimum pada primer TR GI 3.2 maka kerja rele primer GI 3.2 terlalu lama yaitu 0.9s. Hal tersebut dikarenakan rele rele primer GI 3.2 memiliki time delay 0.9s.
2. Apabila terjadi pembebanan nominal pada TR GI 3.2 maka rele primer GI 3.2 akan bekerja sehingga akan terjadi pemadaman untuk seluruh beban yang di bebaskan ke TR GI 3.2 hal tersebut terjadi karena seting *pickup lowset* dari rele primer GI 3.2 terletak di sebelah kiri dari FLA dari TR 3.2.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan lagi agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

### **☑ Rele incom Trafo 3.2**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 2000
<i>Curve Type</i>	: <i>standart inverse</i>
FLA sknder TR GI 3.2	: 2749 A
<i>CT ratio</i>	: 3000 / 5
Isc max Bus Gardu 5	: 28.07 (6.3 kV)
Isc min Bus Gardu 5	: 18.5 (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA sknder TR GI 3.2} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA sknder TR GI 3.2}$$

$$1,05 \times 2749 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 2749$$

$$2886.45 \leq \text{Iset} \leq 3848.6$$

$$\frac{2886.45}{3000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{3848.6}{3000} \text{ In}$$

$$0.96 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1.28 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1 In (*pickup range* 0.3 – 2.4 dengan *step* 0.05)

Nilai Aktual Iset = 3000 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.5s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]} \times \frac{1}{\beta}$$

$$T_d = \frac{t \times 2.97 \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 2.97 \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Bus Gardu 5}}{\text{tap} \times \text{CT primary}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$T_d = \frac{0.5 \times 2.97 \left[\left(\frac{28070}{0.98 \times 3000}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$T_d = 0.49$$

$T_d \geq 0.49$ , dipilih  $T_d = 0.49$  (*Range*  $T_d$  0.1 – 12.5, dengan *step* 0.1)

### **Instantaneous Pickup**

$$I \gg \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus Gardu 5}$$

$$I \gg \leq 0.8 \times 18500$$

$$I \gg \leq 14800$$

$$\text{Tap} \leq \frac{14800}{3000} I_n$$

$$\text{Tap} \leq 4.93 I_n$$

Dipilih Tap = 4.9  $I_n$  (range 0.3 - 24 dengan step 1.0)

Iset = 14700 A

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.5 s

### **☑ Rele Primer GI 3.2**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 2000

Curve Type : standart inverse

FLA primer TR GI 3.2 : 115.5 A

CT ratio : 300 / 5

Isc min Bus Utm GI.SP : 18.18 kA (6.3 kV)

Isc max Bus Utm GI.SP : 22.08 kA (6.3 kV)

Isc.max sekunder TR GI 3.2 : 28.6 kA (0.4 kV)

Konversi ke HV :  $\frac{6.3}{150} \times 28.6 = 1.2 \text{ kA}$

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1.05 \times \text{FLA Prim. TR GI 3.2} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA Prim TR GI 3.2}$$

$$1.05 \times 115.5 \leq I_{set} \leq 1.4 \times 115.5$$

$$121.27 \leq I_{set} \leq 161.7$$

$$\frac{121.27}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{161.7}{300} I_n$$

$$0.4 I_n \leq \text{Tap} \leq 0.54 I_n$$

Dipilih Tap = 0.45  $I_n$  (pickup range 0.3 – 2.4 dengan step 0.05)

Nilai Aktual Iset = 135 A

### **Time Dial**



Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]} \times \frac{1}{\beta}$$

$$T_d = \frac{t \times 2.97 \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 2.97 \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ Max Bus Utm GLSP}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 2.97 \left[ \left( \frac{22080}{0.45 \times 300} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T_d = 0.23$$

$T_d \geq 0.23$ , dipilih  $T_d = 1.2$  (Range  $T_d$  0.1 – 12.5, dengan step 0.1)

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{sc} \text{ max TR GI 3.2 (HV)} \leq I \gg \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus Utm GLSP}$$

$$1200 \leq I \gg \leq 0.8 \times 18180$$

$$1200 \leq I \gg \leq 14544$$

$$\frac{1200}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{14544}{300} I_n$$

$$4 I_n \leq \text{Tap} \leq 48.48 I_n$$

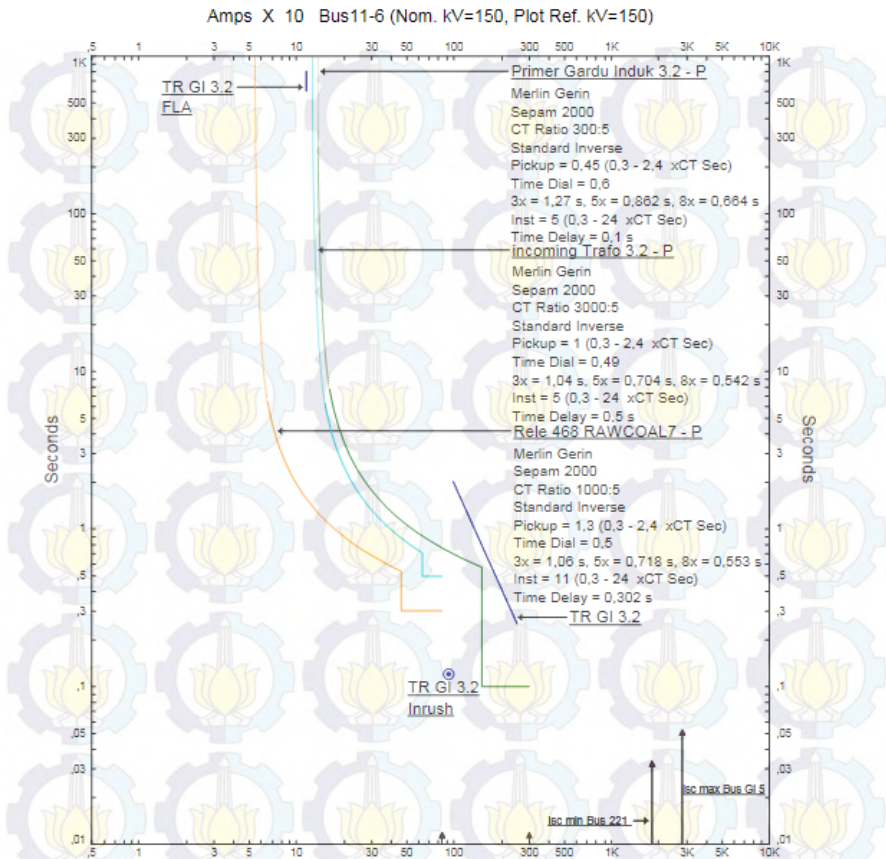
Dipilih Tap = 5  $I_n$  (range 0.3 - 24 dengan step 1.0)

$I_{set} = 1500 \text{ A}$

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.1 s

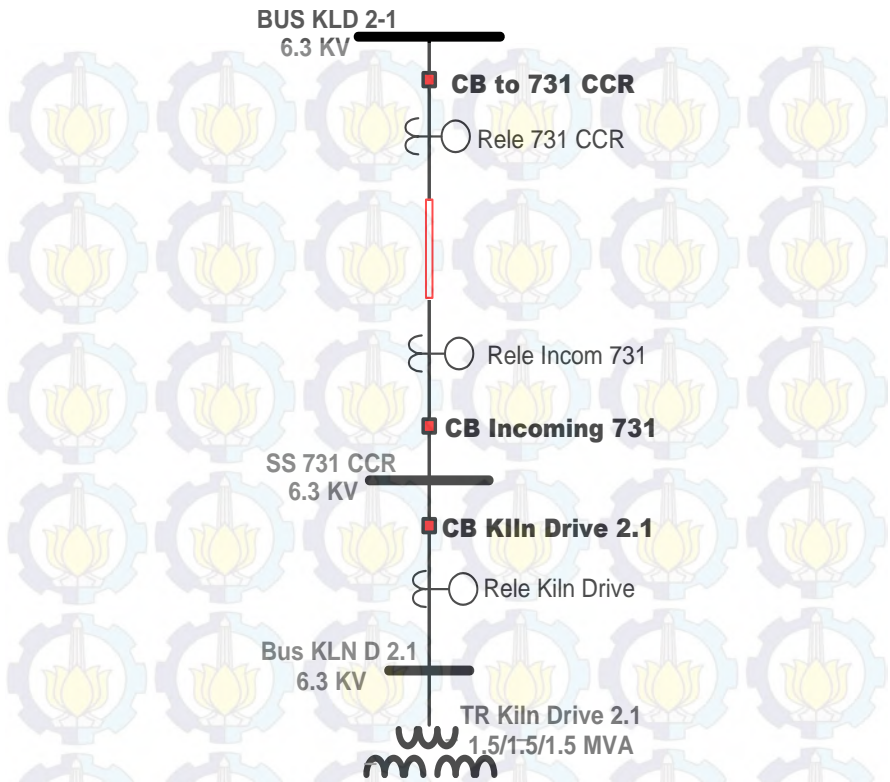
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.15.



**Gambar 4. 15** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 2.b

#### 4.4.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3

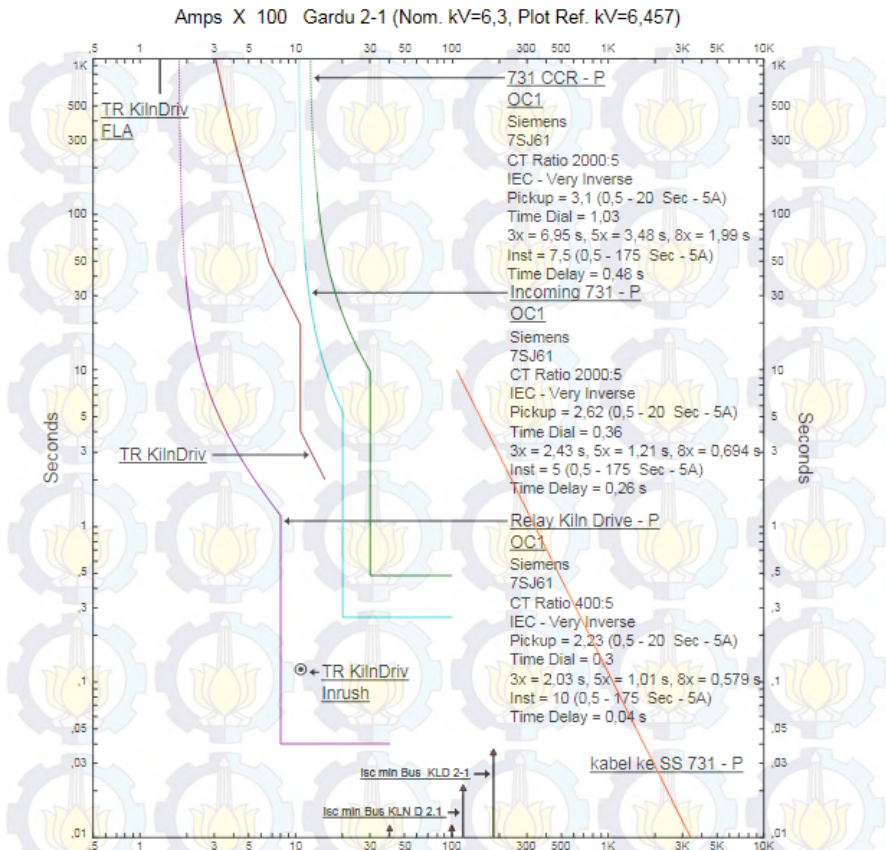
Pada tipikal koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 3.a terdapat 3 rele yang akan dikoordinasikan yang terdiri dari yaitu rele kiln drive, rele incom 731, rele 731 ccr . Tipikal 3.a dapat dilihat pada Gambar 4.16



**Gambar 4. 16** Koordinasi Rele Tipikal 3.a

Pada koordinasi rele tipikal 3.a masih perlu disempurnakan. Hal tersebut dapat di lihat pada hasil kurva plotting pada Gambar 4.17.





**Gambar 4. 17** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 3.a

Berikut ini merupakan keterangan gambar:

1. Kurva rele Kiln drive yang merupakan pengaman sisi primer trafo 03 mengenai *inrush* dari TR kilndrive Sehingga rele rele Kiln drive akan bekerja saat TR klndrive *energized*.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

### **☑ Rele Kiln Drive**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ61
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA TR Kiln Drive 2.1	: 137.5 A
CT ratio	: 400 / 5
Isc max Bus KLN D 2.1	: 14.26 kA (6.3 kV)
Isc min Bus KLN D 2.1	: 11.83 kA (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA Motor RM Drive 1} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA Mtor RM Drive}$$

$$1,05 \times 137.5 \leq I_{set} \leq 1.4 \times 137.5$$

$$144.37 \leq I_{set} \leq 192.5$$

$$\frac{144.37}{400} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{192.5}{400} I_n$$

$$0.36 I_n \leq \text{Tap} \leq 0.48 I_n$$

Dipilih Tap = 0.4  $I_n$  (*pickup range* 0.1 - 4 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual  $I_{set}$  = 160 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Bus KLN D 2.1}}{\text{tap} \times CT_{primary}}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times \left[\left(\frac{14260}{0.4 \times 400}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.65 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.65 \text{ s}$ , dipilih  $T_d = 0.7 \text{ s}$  (*Range* 0.05 – 3.2, dengan *step* 0.01)

### **Instantaneous Pickup**

$$I \gg \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus KLN D 2.1}}$$

$$I \gg \leq 0.8 \times 11830$$

$$I \gg \leq 9464$$

$$\text{Tap} \leq \frac{9464}{400} \text{ In}$$

$$\text{Tap} \leq 23.66 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 16 In (*range* dipilih 0.1 - 35 dengan *step* 0.01)

Iset = 6400 A

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.1 s

### **☑ Rele Incom 731= Rele 731 CCR**

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ61

Curve Type : *Very Inverse*

FLA SS 731 CCR : 953.2 A

CT ratio : 2000 / 5

Isc max SS 731 CCR : 14.26 (6.3 kV)

Isc min SS 731 CCR : 11.83 (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1.05 \times \text{FLA SS 731 CCR} \leq \text{Iset} \leq 1.4 \times \text{FLA SS 731 CCR}$$

$$1.05 \times 953.2 \leq \text{Iset} \leq 1.4 \times 953.2$$

$$1000.86 \leq \text{Iset} \leq 1334.5$$

$$\frac{1000.86}{2000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{1334.5}{2000} \text{ In}$$

$$0.5 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 0.67 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0.6 In (*pickup range* 0.5 - 10 dengan *step* 0.05)

Nilai Aktual Iset = 1200 A



### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ Max SS 731 CCR}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.3 \times \left[ \left( \frac{14260}{0.6 \times 2000} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.24 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.24 \text{ s}$  ,dipilih  $T_d = 0.5\text{s}$  (Range 0.05 – 3.2, dengan step 0.01)

### **Instantaneous Pickup**

$$I \geq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus SS 731 CCR}$$

$$I \geq 0.8 \times 11830$$

$$I \geq 9464$$

$$\text{Tap} \leq \frac{9464}{400} I_n$$

$$\text{Tap} \leq 23.66 I_n$$

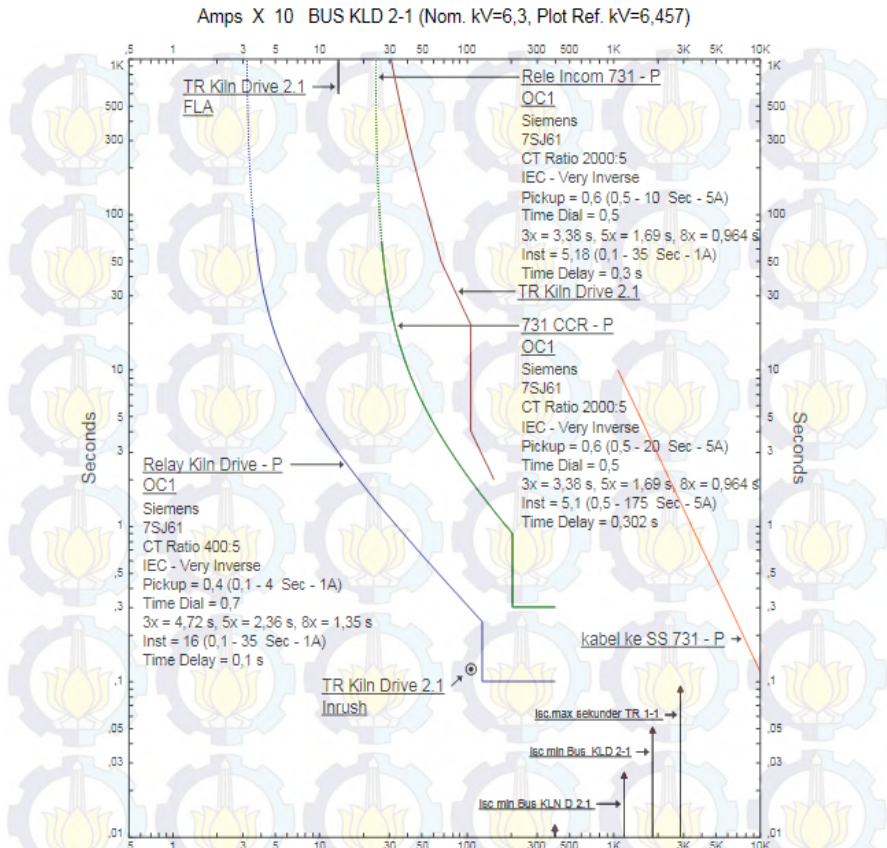
Dipilih Tap = 5.18  $I_n$  (range 0.08 - 32 dengan step 0.01)

Iset = 2072 A

### **Time Delay**

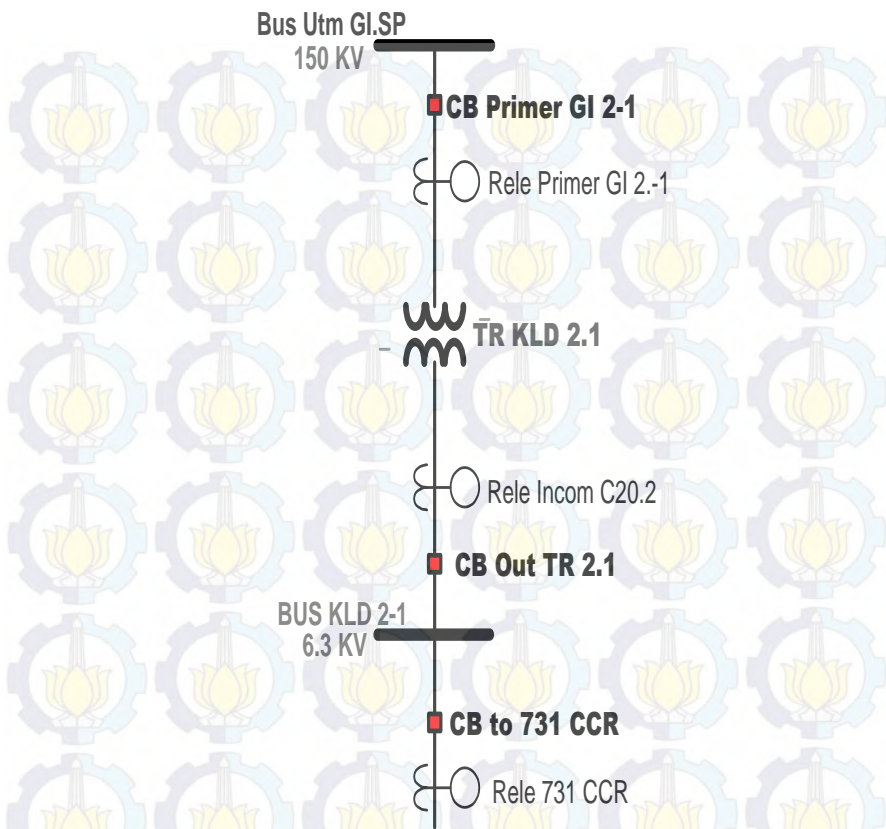
Time delay dipilih 0.3 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.18



**Gambar 4. 18** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 3.a

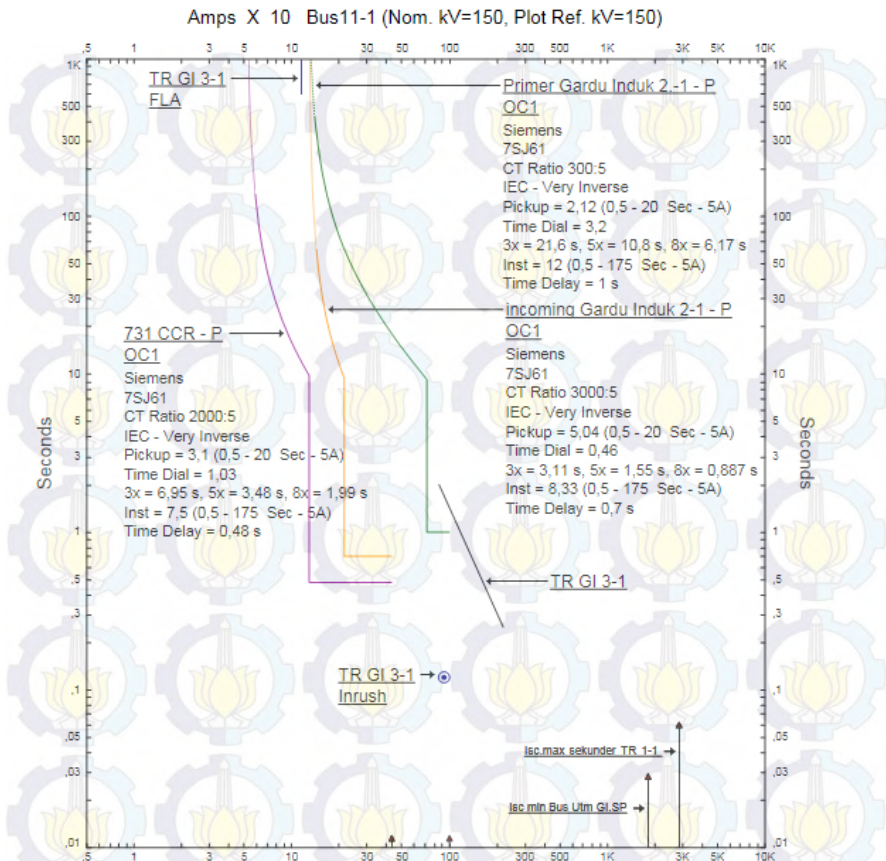
Pada tipikal 3.b terdiri dari 3 rele yang akan dikoordinasikan yaitu rele 731 ccr, rele incom C20.2, serta rele primer GI 2.1. rele Tipikal 1.b dapat dilihat pada Gambar 4.19.



**Gambar 4. 19** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 3.b

Pada koordinasi rele tipikal 3.b masih perlu disempurnakan. Hal itu dapat di lihat pada gambar yang berada pada kurva arus waktu pada Gambar 4.20.





**Gambar 4. 20** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 3.b

Berikut ini merupakan keterangan pada dari plotting gambar:

1. Apabila terjadi *short circuit* pada primer trafo step up tambang maka nilai arus *short circuit*-nya dapat mengenai *damage curve* trafo. Hal tersebut sangat tidak diperkenankan.
2. Ketika terjadi gangguan hubungsingkat minimum pada sekunder trafo maka rele primer trafo GI 3.1 bekerja dengan waktu yang cukup lama yaitu 1,2s, hal ini sangat tidak di perkenankan.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan lagi agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

### **☑ Rele Incom C20.2**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ61
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse Time</i>
FLA TR KLD 2.1	: 2749 A
<i>CT ratio</i>	: 3000 / 5
Isc max Bus KLD 2-1	: 22.85 (6.3 kV)
Isc min Bus KLD 2-1	: 18.5 (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA sknder TR 1-1} \leq \text{Iset} \leq 1.4 \times \text{FLA sknder TR 1-1}$$

$$1.05 \times 2749 \leq \text{Iset} \leq 1.4 \times 2749$$

$$2886.45 \leq \text{Iset} \leq 3848.6$$

$$\frac{2886.45}{3000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{3848.6}{3000} \text{ In}$$

$$0.96 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1.28 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1 In (*pickup range* 0.5 - 10 dengan *step* 0.05)

Nilai Aktual Iset = 3000 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.5 s

$$t = \frac{K \times Td}{\left[\left(\frac{1}{IEB}\right)^{\alpha} - 1\right]}$$

$$Td = \frac{t \times \left[\left(\frac{1}{IEB}\right)^{\alpha} - 1\right]}{K}$$

$$Td = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Bus KLD 2-1}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}}\right)^1 - 1\right]}{K}$$

$$Td = \frac{0.5 \times \left[\left(\frac{22850}{1 \times 3000}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$Td = 0.25 \text{ s}$$

$Td \geq 0.25 \text{ s}$  ,dipilih  $Td = 0.8 \text{ s}$  (*Range* 0.05 – 3.2, dengan *step* 0.01)

### **Instantaneous Pickup**

$$I \geq 0.8 \times \text{min Bus KLD 2-1}$$

$$I \geq 0.8 \times 18500$$

$$I \geq 14800$$

$$\text{Tap} \leq \frac{14800}{3000} \text{ In}$$

$$\text{Tap} \leq 4.93 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 4.9 In (*range* 0.1 - 35 dengan *step* 0.01)

Iset = 14700 A

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.5 s

### **☑ Rele Primer GI 2.1**

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ61

Curve Type : *Very Inverse*

FLA primer TR 3.1 : 115.5 A

CT ratio : 300 / 5

Isc min Bus Utm GI.SP : 18.18 kA (6.3 kV)

Isc max Bus Utm GI.SP : 22.08 kA (6.3 kV)

Isc.max sekunder TR 1-1 : 28.6 kA (0.4 kV)

Konversi ke HV :  $\frac{6.3}{150} \times 28.6 = 1.2 \text{ kA}$

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1.05 \times \text{FLA Prim. TR 1-1} \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times \text{Isc min Bus Utm GI.SP}$$

$$1.05 \times 115.5 \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times 18180$$

$$121.27 \leq \text{Iset} \leq 14544$$

$$\frac{121.27}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{14544}{300} \text{ In}$$

$$0.4 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 48.48 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 2.21 In (*pickup range* 0.1 - 4 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual Iset = 663 A



### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ Max Bus Utm GI.SP}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{13.5}{0.1 \times \left[ \left( \frac{22080}{2.21 \times 300} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = 0.23 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.23\text{s}$ , dipilih  $T_d = 0.25\text{s}$  (Range 0.05 – 3.2 , dengan step 0.01)

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{sc} \text{ max TR 1-1 (HV)} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus Utm GI.SP}$$

$$1200 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 18180$$

$$1200 \leq I_{set} \leq 14544$$

$$\frac{1200}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{14544}{300} \text{ In}$$

$$4 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 48.48 \text{ In}$$

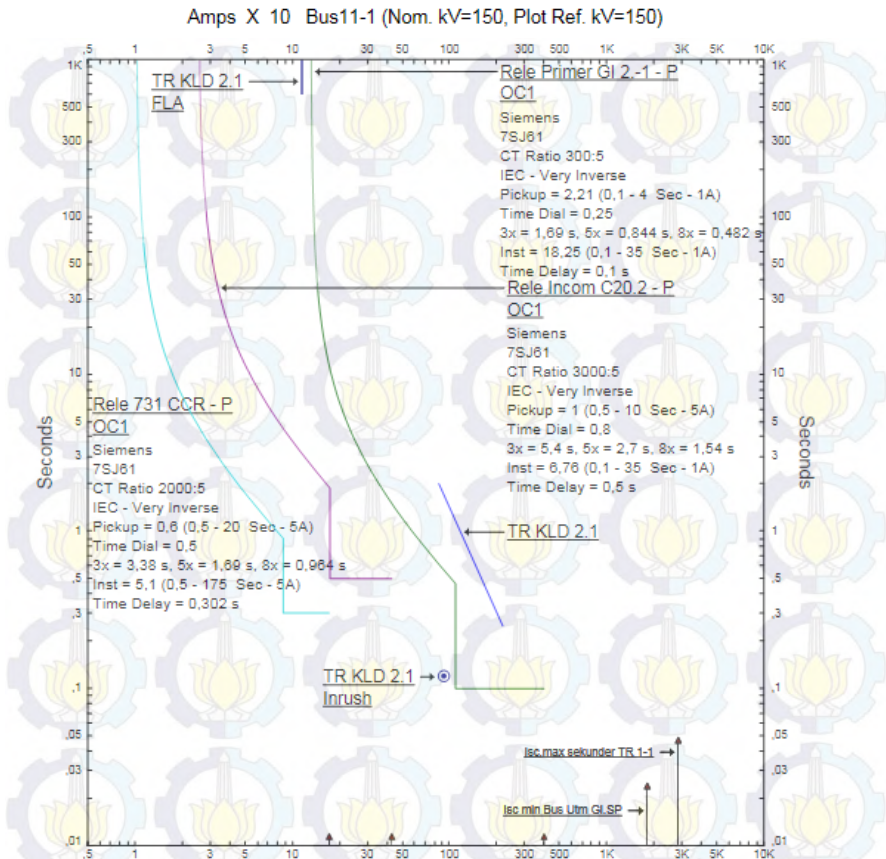
Dipilih Tap = 18.25 In (range dipilih 0.1 - 35 dengan step 0.01)

Iset = 5475 A

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.1 s

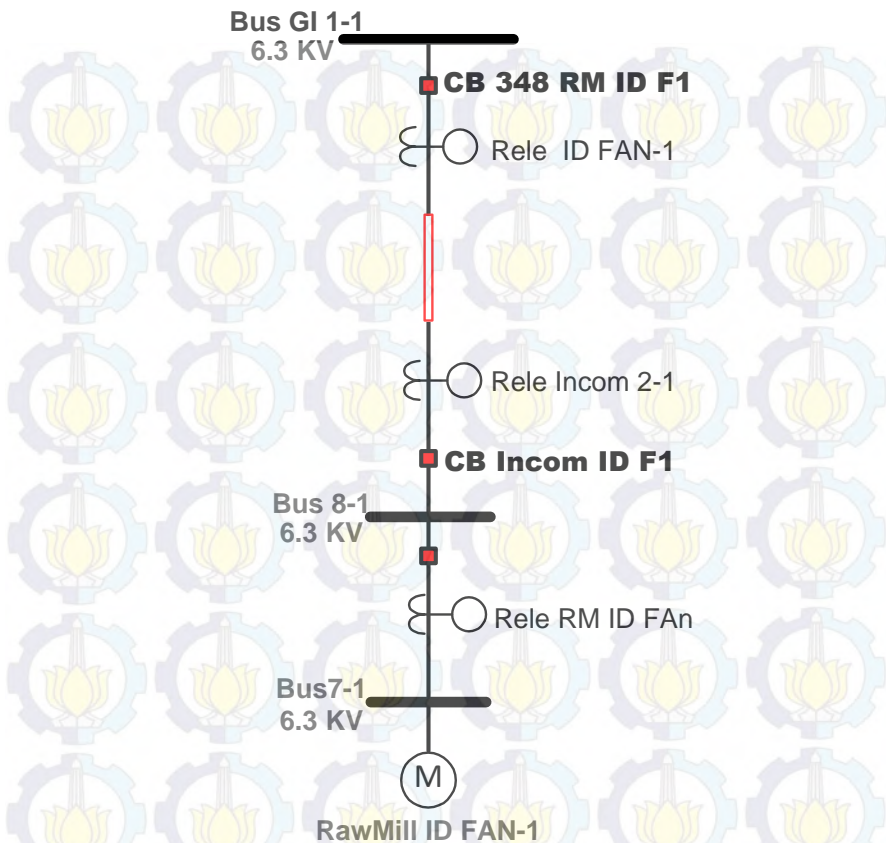
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.21.



**Gambar 4. 21** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 3.b

#### 4.4.4. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4

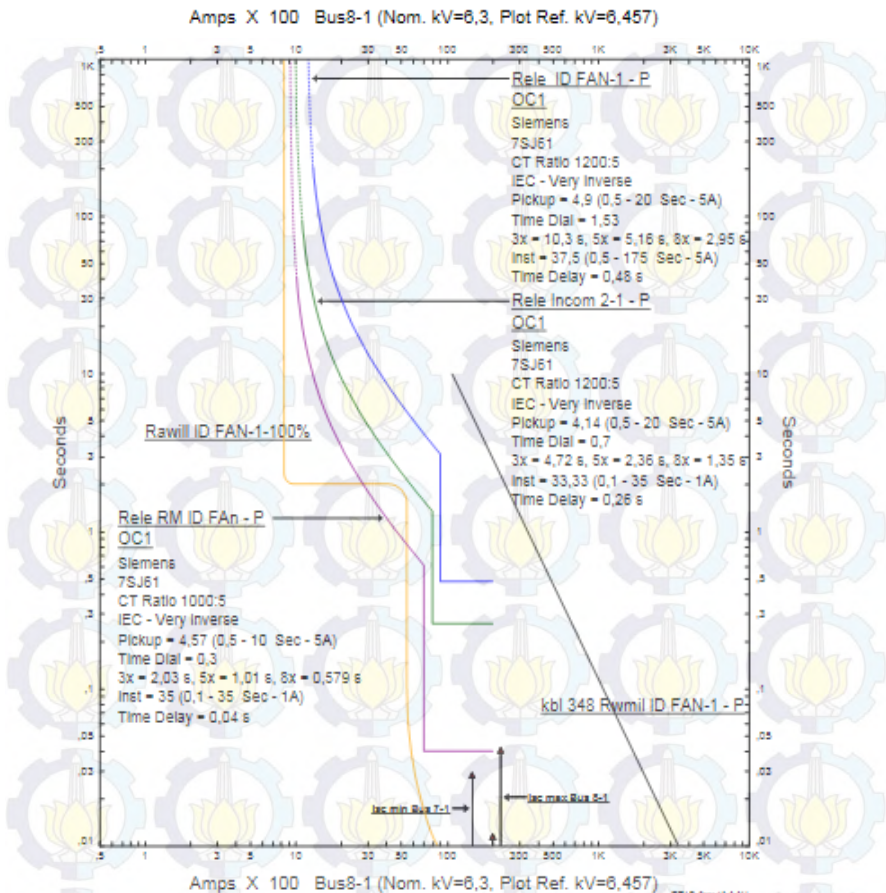
Pada tipikal koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 4 rele yang akan dikoordinasikan yang terdiri dari rele rele rm id fan, rele incom 2-1, rele Id fan-1. Tipikal 4.a dapat dilihat pada Gambar 4.22



**Gambar 4. 22** Koordinasi Rele Tipikal 4.a

Pada koordinasi rele tipikal 4.a masih perlu disempurnakan. Hal itu dapat di lihat pada gambar yang berada pada kurva arus waktu pada Gambar 4.23.





**Gambar 4. 23** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 4.a

Berikut ini merupakan keterangan gambar hasil plotting:

1. *Setting* kurva rele RM ID Fan (menyentuh kurva *starting* motor ROW MILL ID Fan . Jika motor tersebut start maka kemungkinan rele RM ID Fan akan bekerja sehingga mengakibatkan motor ROW MILL ID Fan gagal *starting*.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

#### **☑ Rele RM ID FAN**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ61
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA Motor RM Drive-1	: 830.8 A
<i>CT ratio</i>	: 1000 / 5
Isc max Bus 7-1	: 22.62 kA (6.3 kV)
Isc min Bus 7-1	: 14.65 kA (6.3 kV)

#### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA Motor RM Drive 1} \leq I_{set} \leq 0,8 \times \text{Isc min Bus7-1}$$

$$1,05 \times 830,8 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 14650$$

$$872.34 \leq I_{set} \leq 11720$$

$$\frac{866.04}{1000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11720}{1000} I_n$$

$$0.87 I_n \leq \text{Tap} \leq 11.72 I_n$$

Dipilih Tap = 5  $I_n$  ( *pickup range* 0.5 - 4 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual  $I_{set}$  = 5000 A

#### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ Max Bus7-1}}{I_{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^1 - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times \left[ \left( \frac{22620}{5 \times 1000} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.026 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.026 \text{ s}$  ,dipilih  $T_d = 0.3 \text{ s}$  (*Range* 0.5 - 15, dengan *step* 0.25)

### **Instantaneous Pickup**

7 x FLA Motor RM Drive –  $1 \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus7-1}}$

$$7 \times 830.8 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 14650$$

$$5815.6 \leq I_{set} \leq 11720$$

$$\frac{5815.6}{1000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11720}{1000} I_n$$

$$5.8 I_n \leq \text{Tap} \leq 11.72 I_n$$

Dipilih Tap = 11.7 In (*range* dipilih 0.08 - 32 dengan *step* 0.01)

I<sub>set</sub> = 11700 A

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.1 s

### **☑ Rele Incom 2-1 = Rele ID FAN-1**

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ61

Curve Type : Very Inverse Time

FLA Bus4-1 : 903.71 A

CT ratio : 1200 / 5

I<sub>sc</sub> max Bus 8-1 : 22.62 (6.3 kV)

I<sub>sc</sub> min Bus 8-1 : 14.65 (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

1.05 x FLA Bus 8 –  $1 \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min Bus 8-1}}$

$$1.05 \times 903.71 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 14650$$

$$948.9 \leq I_{set} \leq 11720$$

$$\frac{948.9}{1200} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11720}{1000} I_n$$

$$0.79 I_n \leq \text{Tap} \leq 11.72 I_n$$

Dipilih Tap = 5 In (*pickup range* 0.5 - 4 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual I<sub>set</sub> = 6000 A



### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ Max Bus } 8-1}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.5 \times \left[ \left( \frac{22620}{5 \times 1200} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.02 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.02 \text{ s}$ , dipilih  $T_d = 0.34 \text{ s}$  (Range 0.5 - 15, dengan step 0.25)

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{>>} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus } 8-1$$

$$I_{>>} \leq 0.8 \times 14650$$

$$I_{>>} \leq 11720$$

$$\text{Tap} \leq \frac{11720}{1200} I_n$$

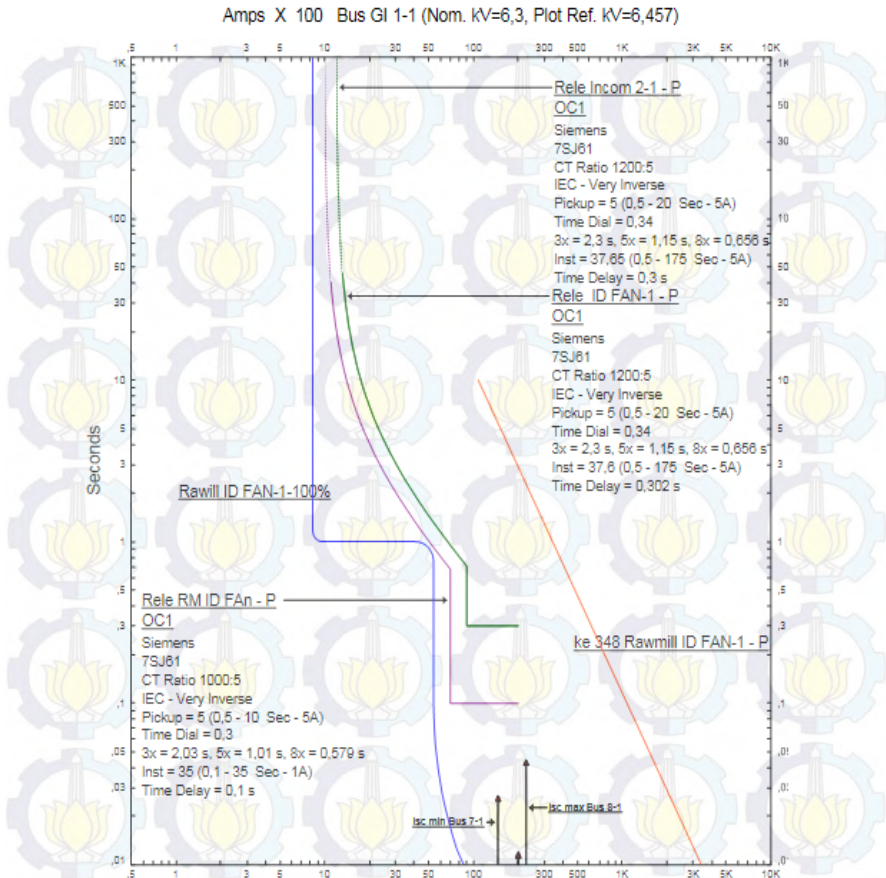
$$\text{Tap} \leq 9.77 I_n$$

Dipilih Tap = 9.5  $I_n$  (range 0.08 - 32 dengan step 0.01)

### **Time Delay**

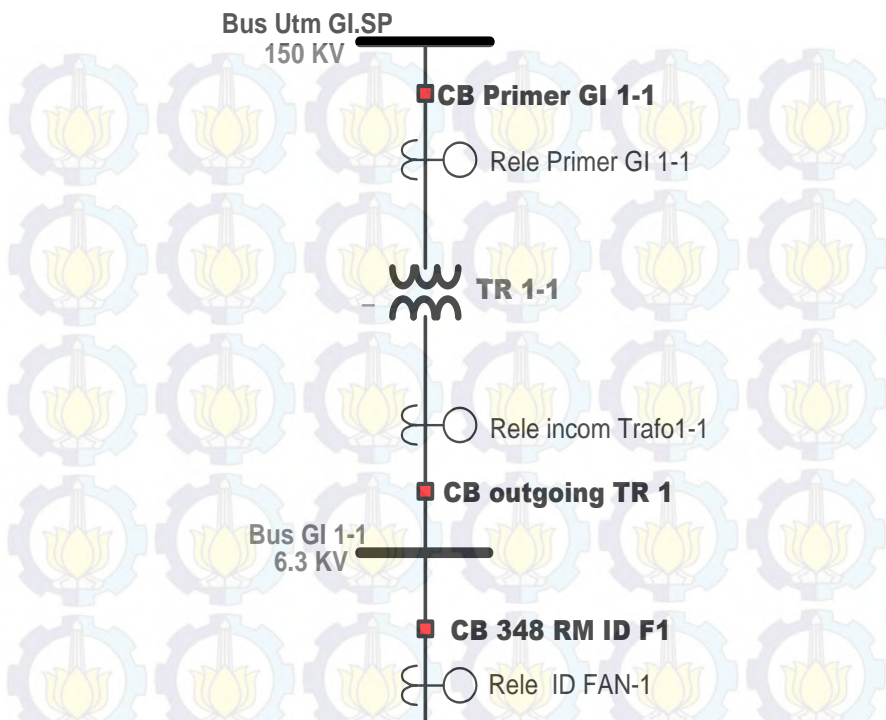
Time delay dipilih 0.3 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.24



**Gambar 4. 24** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 4.a

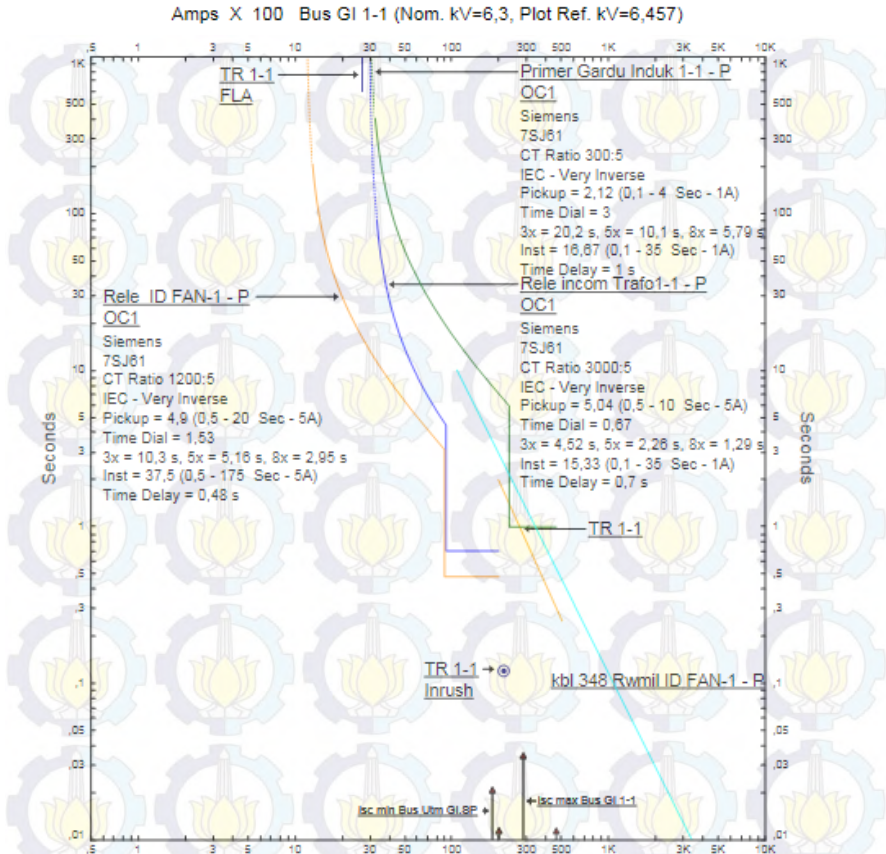
Pada tipikal 4.b rele yang akan dikoordinasikan yaitu rele Id fan-1, rele incom trafo1-1, serta rele primer GI 1.1. rele Tipikal 4.b dapat dilihat pada Gambar 4.25.



**Gambar 4. 25** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 4.b

Pada koordinasi rele tipikal 4.b masih perlu disempurnakan. Hal itu dapat di lihat pada kurva arus waktu pada Gambar 4.26.





**Gambar 4. 26** Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 4.b

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar:

1. Apabila terjadi *short circuit* pada primer TR1-1 maka nilai arus *short circuit*-nya dapat mengenai *damage curve* trafo. Hal tersebut sangat tidak diperkenankan.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan lagi agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

### **☑ Rele incom Trafo1-1**

Manufacturer	: SIEMENS
Model	: 7SJ61
Curve Type	: <i>Very Inverse Time</i>
FLA sknder TR 1-1	: 2749 A
CT ratio	: 3000 / 5
Isc max Bus GI 1-1	: 28.6 (6.3 kV)
Isc min Bus GI 1-1	: 18.5 (6.3 kV)

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA sknder TR 1-1} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc min Bus GI 1-1}$$

$$1,05 \times 2749 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 18500$$

$$2886.45 \leq \text{Iset} \leq 14800$$

$$\frac{2886.45}{3000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{14800}{3000} \text{ In}$$

$$0.96 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 4.93 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 3.35 In (*pickup range* 0.5 - 4 dengan *step* 0.01)

Nilai Aktual Iset = 10050 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[\left(\frac{\text{Isc Max Bus GI 1-1}}{\text{tap} \times \text{CT primary}}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.5 \times \left[\left(\frac{28600}{0.98 \times 3000}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.32 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.32 \text{ s}$ , dipilih  $T_d = \text{ s (Range 0.5 - 15, dengan step 0.25)}$

### **Instantaneous Pickup**

$$I \gg \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus GI 1-1}$$

$$I \gg \leq 0.8 \times 18500$$

$$I \gg \leq 14800$$

$$\text{Tap} \leq \frac{14800}{3000} I_n$$

$$\text{Tap} \leq 4.93 I_n$$

Dipilih Tap = 4.5  $I_n$  (range 0.08 - 32 dengan step 0.01)

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.5 s

### **☑ Rele Primer GI 3.1**

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ61

Curve Type : Very Inverse Time

FLA primer TR 3.1 : 115.5 A

CT ratio : 300 / 5

Isc min Bus Utm GI.SP : 18.18 kA (6.3 kV)

Isc max Bus Utm GI.SP : 22.08 kA (6.3 kV)

Isc.max sekunder TR 1-1 : 28.6 kA (0.4 kV)

Konversi ke HV :  $\frac{6.3}{150} \times 28.6 = 1.2 \text{ kA}$

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1.05 \times \text{FLA Prim. TR 1-1} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus Utm GI.SP}$$

$$1.05 \times 115.5 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 18180$$

$$121.27 \leq I_{set} \leq 14544$$

$$\frac{121.27}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{14544}{300} I_n$$

$$0.4 I_n \leq \text{Tap} \leq 48.48 I_n$$

Dipilih Tap = 2.2  $I_n$  (pickup range 0.08 - 4 dengan step 0.01)

Nilai Aktual Iset = 660 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$



$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{1}{IEB} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ Max Bus Utm GI.SP}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times \left[ \left( \frac{22080}{0.2 \times 300} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 1.35 \text{ s}$$

$T_d \geq 1.35 \text{ s}$  , dipilih  $T_d = 0.5 \text{ s}$  (*Range 0.05 - 3.2, dengan step 0.01*)

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{sc} \text{ max TR 1-1 (HV)} \leq I \gg \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus Utm GI.SP}$$

$$1200 \leq I \gg \leq 0.8 \times 18180$$

$$1200 \leq I \gg \leq 14544$$

$$\frac{1200}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{14544}{300} \text{ In}$$

$$4 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 48.48 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 17.59 In (*range dipilih 0.08 - 32 dengan step 0.01*)

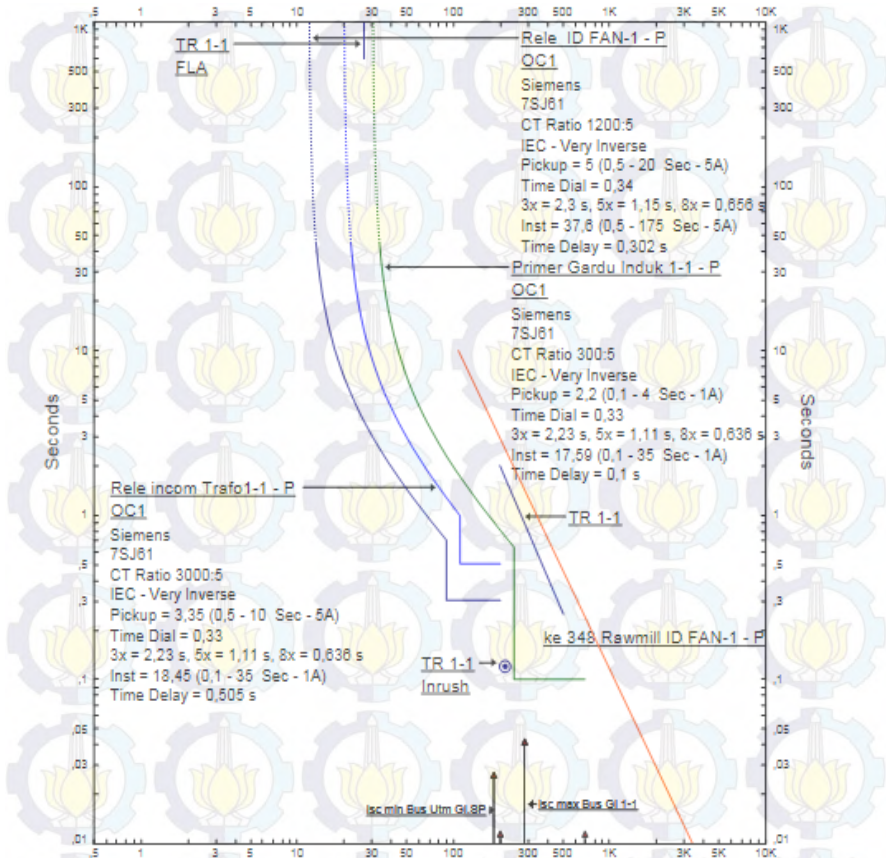
Iset = 5250 A

### **Time Delay**

*Time delay* dipilih 0.1 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.27.

Amps X 100 Bus GI 1-1 (Nom. kV=6,3, Plot Ref. kV=6,457)



Gambar 4. 27 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 4.b

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil studi dan analisis koordinasi rele pengaman pada PT. Semen Padang yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil plot koordinasi kurva arus waktu *eksisting* PT. Semen Padang memperlihatkan bahwa banyak rele yang terjadi kesalahan koordinasi antara rele utama dan rele backup. Hal ini mengakibatkan selektifitas rele kurang baik dalam melokalisir gangguan pada sistem, sehingga menyebabkan dampak pemadaman yang lebih luas pada pabrik PT.Semen Padang.
2. *Grading time* yang digunakan untuk koordinasi kerja dari rele pengaman adalah sebesar 0.2 detik. Hal ini dianggap sesuai karena dengan *Grading time* sebesar 0.2 – 0,4 detik dapat memberikan waktu yang cukup kepada rele pengaman utama untuk selesai memutus gangguan terlebih dahulu. Sehingga kejadian *trip* secara bersamaan antara rele pengaman utama dan rele *backup* pada saat terjadi gangguan hubung singkat dapat dihindari dan koordinasi kerja antar rele dapat berjalan dengan baik. Pemilihan *Grading time* sebesar 0.2 dan 0.3 detik dianggap paling sesuai mengingat rele yang digunakan adalah rele digital. Pemilihan *Grading time* sebesar 0.2 detik sesuai dengan standar IEEE 242.

#### **5.2. Saran**

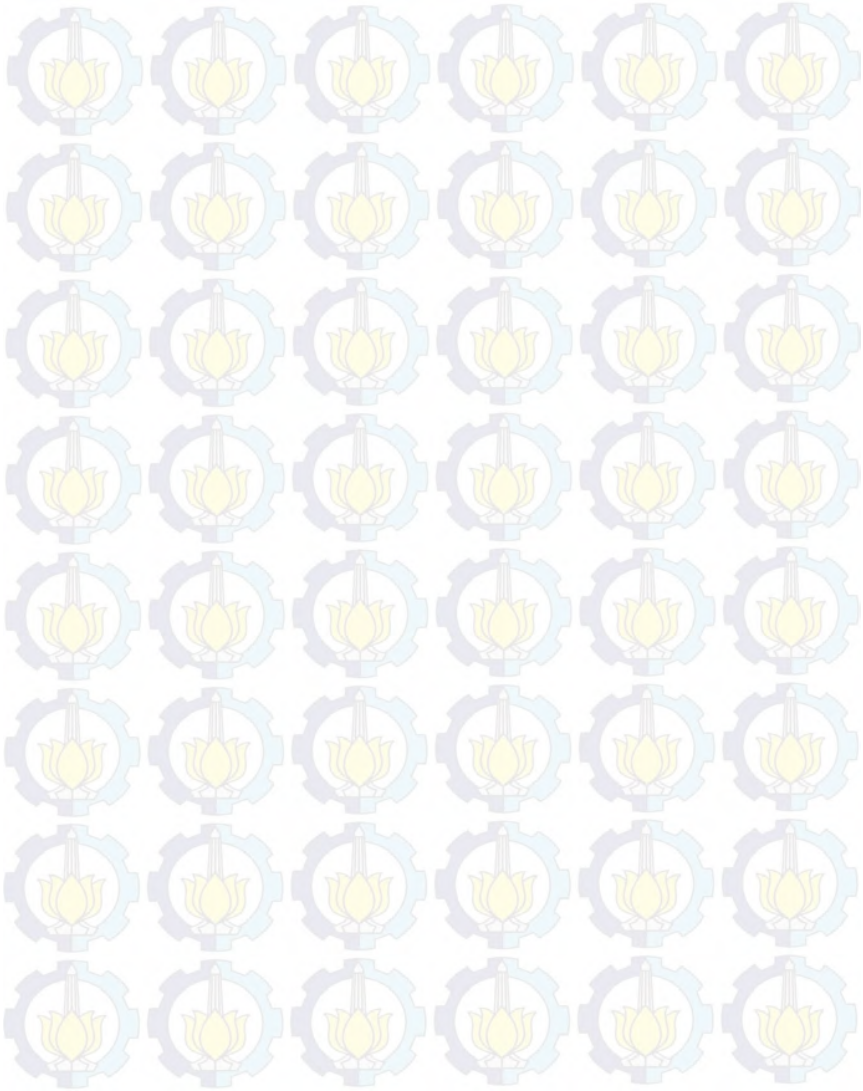
Dengan mempertimbangkan hasil studi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, ada beberapa saran yang dapat menjadi masukan kedepannya, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk studi selanjutnya dapat dilakukan pengembangan dengan pertimbangan *arc flash* dan *harmonisa* pada koordinasi proteksi PT.Semen padang. Pertimbangan *arc-flash* pada koordinasi proteksi PT.Semen padang dapat meningkatkan standar *safety* pada pekerja dan operator yang bekerja di bagian panel.
2. Dari *setting* rele pengaman yang didapat dan hasil dari plot kurva arus waktu *resetting* dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan setting rele pengaman pada PT.Semen Padang.





## LAMPIRAN



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lazar irwin “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [2] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [3] Grainger J.J, Stevenson William, “*Power System Analysis*”, McGraw-Hill Inc., New York, Ch. 12, 1994
- [4] Penangsang, Ontoseno.”*Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*”, Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya
- [5] IEEE std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Cordination of Industrial and Commercial Power System*”The institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001.
- [6] IEEE Std C37.112-1996, “IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1996.
- [7] Soeprijanto, Adi ”*Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*”, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [8] Préve, Christophe, “Protection for Electrical Network”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
- [9] Instruction Manual “*Multi-Functional Protective Relay with Bay Controller 7SJ62 V4.0/V4.1*” Siemens. 1999
- [10] Service Manual Type MCGG “*Overcurrent Relays for Phase and Earth Fault*” Alstom





## BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Peihong sinaga dengan nama panggilan Pei. Lahir di Sei Priok pada tanggal 18 bulan Oktober tahun 1992 beragama Kristen. Tempat tinggal penulis di Avrur Sei Priok Dsn IV Serdang Bedagai Sumut . Sekarang bertempat tinggal di Jl. Raya Keputih Tegal SPR Blok A/17 Surabaya karena masih berstatus mahasiswa di Kmpus ITS Surabaya. Motto yang diusung Rajin Pangkal Bisa, Malas Pangkal Takpunya. Penulis pernah menjalani pendidikan di Tk SD impres Avrur,

SD Negeri 17 Avrur Sei Priok, SMP KCK Tebing tinggi, SMA KCK Tebing tinggi, Program Studi Diploma 3 Teknik Elektro – Bidang Studi Teknik Elektronika , Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Universitas Andalas (UNAND ) Padang . Tahun 2013 melanjutkan pendidikan Program Studi Lintas Jalur S1 Teknik Elektro – Bidang Studi Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Sepuluh Nopember ( ITS ) Surabaya. Selain pendidikan, penulis pernah mengikuti kerja praktek di PLN GI Padang Luar, PLN APD Surabaya dan memiliki pengalaman organisasi dengan menjadi Ketua Pelaksana UMK Robotik PNP periode 2011 – 2012.